ÉTUDES ET
RECHERCHES
EN TRANSPORTS

L'INFLUENCE DU POURCENTAGE DE PARTICULES FINES SUR LA PORTANCE D'UNE CHAUSSÉE À PARTIR D'ESSAIS EN LABORATOIRE

PAUL FLON
JEAN-FRANÇOIS POULIN

ESSAIS
ET MATÉRIAUX

Québec

89-02717/

L'INFLUENCE DU POURCENTAGE DE PARTICULES FINES

SUR LA PORTANCE D'UNE CHAUSSÉE

À PARTIR D'ESSAIS EN LABORATOIRE

TABLE DES MATIÈRES

Pages

1- INTRODUCTION..... 1

2- CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES MATÉRIAUX UTILISÉS..... 3
2.1 Gravier P.E.B. (granitique)..... 3
2.2 Gravier Saint-Damien (schisteux)..... 3
2.3 Fines du gravier naturel P.E.B. (passant 80 microns). 3
2.4 Fines argileuses..... 3
2.5 Commentaires..... 4

3- ESSAIS RÉALISÉS..... 5
3.1 Généralités..... 5
3.2 Série #1:..... 5
3.3 Série #2:..... 6
3.4 Série #3:..... 8

4- ANALYSE DES RÉSULTATS..... 11
4.1 Généralités..... 11
4.1.1 Étude des distributions granulométriques..... 11
4.1.2 Fragmentation..... 12
4.1.3 Quantité et qualité des particules fines..... 12
4.2 Essais Proctor..... 13
4.3 Essais C.B.R..... 13
4.4 Valeur de bleu..... 16
4.5 Essais de perméabilité..... 17

5. CONCLUSION..... 19

1- INTRODUCTION

La présente étude traite de matériaux utilisés lors de la construction de chaussées flexibles. Elle vise à établir une relation, pour les graviers routiers, entre le pourcentage de particules fines (c'est-à-dire en terme de quantité de fines, mais aussi si possible selon la qualité des fines) et la capacité portante du gravier densifié.

Pour ce faire, nous avons déterminé l'influence des particules fines sur la capacité portante d'un gravier type, en faisant varier la quantité de particules fines dans l'échantillon, et en effectuant les essais Proctor et C.B.R.

Une autre série d'essais a été réalisée avec un gravier de qualité différente mais de même granulométrie que le précédent. Ces deux séries ont ensuite été reprises en substituant aux fines initiales des fines de qualités différentes, de façon à appréhender l'influence de leur qualité.

Sur chaque échantillon sont effectués des essais au bleu de méthylène sur le passant 400 microns des mélanges utilisés.

Finalement, des mélanges de béton bitumineux ont été préparés avec différents pourcentages de particules fines, pour vérifier l'influence des fines sur ce revêtement de chaussée. Ces essais seront interprétés ultérieurement. Le but de cette étude est d'essayer d'élargir les possibilités d'utilisation des matériaux marginaux, ou de limiter au maximum les refus de bons matériaux. Il s'agit en particulier de préciser l'exigence de 8 % de passant

80 µm du Cahier des charges et devis généraux (C.C.D.G.), et de rechercher le seuil de valeur de bleu à partir duquel on peut décider de rejeter ou d'accepter un matériau donné. Cette recherche se poursuivra dans l'avenir, car le seuil est complexe à définir pour tous les matériaux disponibles sur le marché : il faudrait en effet vérifier in situ quel est le comportement exact du matériau.

2- CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES MATÉRIAUX UTILISÉS

Lors de l'étude, deux graviers différents ainsi que deux fines différentes furent utilisés.

2.1 Gravier P.E.B. (granitique)

Ce gravier provient du banc P.E.B. dans la municipalité de Lac-Saint-Charles comté de Québec. Nous l'avons utilisé à l'état naturel pour les essais C.B.R. et Proctor, et sous forme concassée (0-20 mm) pour les mélanges de béton bitumineux. Les principales caractéristiques de ce gravier sont rassemblées aux tableaux 2.1 et 2.2.

2.2 Gravier Saint-Damien (schisteux)

Ce gravier fut utilisé à l'état naturel pour les essais Proctor et C.B.R. Il provient du banc Marcel Goulet dans la municipalité de Saint-Damien, comté de Bellechasse. Les principales caractéristiques de ce gravier sont rassemblées aux tableaux 2.3 et 2.4

2.3 Fines du gravier naturel P.E.B. (passant 80 microns)

Ces particules sont principalement composées de quartz, de feldspath avec des traces de mica, d'amphibole et de chlorite. Elles sont de qualité silteuse. L'analyse chimique de ces particules est présentée au tableau 2.5 et la granulométrie au tableau 2.6. Sa valeur de bleu sur le passant 80 μm est 0,14.

2.4 Fines argileuses

Ce sont des particules provenant d'une argile à poterie du nom commercial Darkbell. Elles sont composées de kaolinite et de quartz. L'analyse chimique est présentée au tableau 2.5 et la granulométrie au tableau 2.6. Sa valeur de bleu sur le passant 80 μm est 3,0.

2.5 Commentaires

En général, le matériel granitique P.E.B. est beaucoup plus dur et résistant que le matériel schisteux de Saint-Damien (Micro Deval et $MgSO_4$, tableau 2.2); pour ces essais de durabilité, seul le gravier granitique répond aux exigences du Cahier des charges et devis généraux du M.T.Q. Par contre, le matériel granitique est plus fragile (moins tenace) que le gravier schisteux (essai Los Angeles). Le gravier schisteux peut tout de même être classé comme matériau dégradable, le gravier granitique comme matériau non dégradable.

Les deux sortes de matériaux contiennent de 30 à 35 % de particules fragmentées. Leurs arêtes sont cependant émoussées, surtout dans le cas du gravier granitique; les particules schisteuses sont plus plates et allongées; ces caractéristiques résultent, sans doute, des nombreuses années pendant lesquelles les graviers ont été soumis aux agents naturels d'érosion; de plus ils ont subi beaucoup de manipulation au laboratoire.

À part quelques différences dans leur composition chimique (tableau 2.5), les deux sortes de particules fines utilisées dans les essais diffèrent surtout pour ce qui est de certaines caractéristiques géotechniques; 89 % et 74 % de passant 5 μm et 1 μm pour l'argile Darkbell, 13 % et 0,3 % pour les fines P.E.B.; $_L$ = 80 % et 32 %, respectivement; et I_p = 53 et 12, respectivement. L'argile Darkbell est donc une argile très plastique CH, tandis que les fines P.E.B. sont très peu plastiques et très silteuses. Le sable P.E.B. a un coefficient d'angularité de 1,43, caractéristique d'un sable un peu plus angulaire que la moyenne. Sa densité est de 2,65, son coefficient d'absorption vaut 0,51 % et sa friabilité 16,0.

3- ESSAIS RÉALISÉS

3.1 Généralités

Au cours de l'étude, cinq séries d'essais ont été exécutées: trois séries d'essais Proctor et C.B.R., une de perméabilité et une sur béton bitumineux.

Pour les essais Proctor et C.B.R., nous avons utilisé une granulométrie à l'intérieur du fuseau 19.0a pour fondation supérieure du Cahier des charges et devis généraux. Les essais sur béton bitumineux ont été effectués à partir de la granulométrie du mélange MB-4 du Cahier des charges et devis généraux.

3.2 Série #1:

Cette série ne comporte que trois essais Proctor et trois C.B.R. Ceux-ci furent effectués avec les graviers naturels des bancs P.E.B. et Saint-Damien.

Nous avons décidé, au début de l'étude, de fixer la granulométrie des mélanges à la limite inférieure du fuseau 19-0a; puis de faire varier pour chaque essai, le pourcentage de particules passant le tamis 80 microns.

Pour ce faire, les graviers furent séparés en fractions allant de 14 mm à 80 microns puis recombinés selon la granulométrie choisie. Or, cette méthode de travail nécessitait beaucoup trop de temps de tamisage sur la partie sable, ce qui explique le nombre restreint d'essais.

Les essais réalisés sont :

Saint-Damien 1- un Proctor et un C.B.R. à 2 % passant le tamis 80 microns;

2- un Proctor et un C.B.R. à 8 % passant le tamis 80 microns;

P.E.B. 3- un Proctor et un C.B.R. à 5 % passant le tamis 80 microns;

3.3 Série #2

Suite au problème de temps de tamisage rencontré à la première série, la méthode de réalisation des échantillons fut révisée.

Premièrement, nous n'avons utilisé que la partie pierre (14 mm, 10 mm, 5 mm) des deux graviers naturels. Deuxièmement, la partie sable (0-5 mm) de ces graviers fut remplacée par un sable provenant du banc P.E.B., ayant une granulométrie se rapprochant de la limite inférieure du fuseau utilisé. Finalement, les particules passant le tamis 80 microns nécessaires aux différents mélanges furent recueillies par tamisage à partir du passant 5 mm du gravier naturel P.E.B.

Les essais effectués sur les graviers P.E.B. et Saint-Damien sont :

1- un Proctor et un C.B.R. à 4,6 % passant le tamis 80 microns;

2- un Proctor et un C.B.R. à 8,0 % passant le tamis 80 microns;

3- un Proctor et un C.B.R. à 10,0 % passant le tamis 80 microns;

4- un Proctor et un C.B.R. à 12,0 % passant le tamis 80 microns;

5- un Proctor et un C.B.R. à 15,7 % passant le tamis 80 microns;

6- un Proctor et un C.B.R. à 21,0 % passant le tamis 80 microns;
7- une perméabilité à 4,6 % passant le tamis 80 microns;
8- une perméabilité à 10,0 % passant le tamis 80 microns;
9- une perméabilité à 15,7 % passant le tamis 80 microns;
10- valeur de bleu de méthylène pour chaque mélange.

Plusieurs difficultés ont été rencontrées lors de la réalisation des mélanges.

1° L'analyse granulométrique préliminaire avait indiqué que le sable P.E.B. prélevé initialement suivait grosso modo la limite inférieure du fuseau d'exigence, sans retenu 5 mm, et avec peu de passant 80 µm (GL 6300). En fait, les premiers essais ont révélé une courbe granulométrique différente, avec près de 15 % de particules fines (passant 80 µm). Il a donc fallu retourner échantillonner un autre sable (GL 100), dans la même carrière P.E.B. Sa granulométrie, indiquée ci-dessous, a été adoptée telle qu'elle est, c'est-à-dire relativement proche de la ligne inférieure du fuseau. Les granulométries réelles de mélanges ont donc été recalculées, ce qui explique les pourcentages particuliers de passant 80 µm de certains mélanges (4,6 %, 15,7 %, 21 %).

Tamis	5 mm	2,5 mm	1,25 mm	630 µm	315 µm	160 µm	80 µm
GL 100 (% passant)	100	86	72	49	26	14	7,2
Tamis	**28 mm**	**20 mm**	**14 mm**	**5 mm**	**1,25 mm**	**315 µm**	**80 µm**
Ligne inférieure du fuseau C.C.D.G.	100	90	68	35	19	9	2

La limite inférieure du fuseau est celle d'un matériau idéal qui possède probablement une meilleure capacité portante que tout autre matériau dont la courbe granulométrique se situe dans le fuseau du C.C.D.G.; les raisons principales sont la régularité de la courbe, le faible pourcentage de sable (35 %). Une série d'essais a cependant été réalisée pour la ligne inférieure précise du fuseau (granulométrie donnée dans le tableau ci-dessus), c'est-à-dire en tamisant un peu de sable sur chacun des tamis, puis en reconstituant le matériau.

2° Lorsque l'on effectuait des essais Proctor et C.B.R. à des pourcentages de fines élevés (plus de 10 %) l'homogénéité du mélange humide devenait très difficile à obtenir; ceci peut avoir une influence sur la qualité des résultats. Par contre, les échantillons ayant tous été préparés et mélangés de la même façon, nous considérons l'influence de l'homogénéité comme étant négligeable sur la qualité des résultats obtenus.

3.4 Série #3

Pour cette série, la même méthode qu'en 3.3 fut utilisée, sauf que les particules passant le tamis 80 microns furent remplacées par des fines purement argileuses.

Les essais effectués sont:

1- un Proctor et un C.B.R. à 2 % d'argile;
2- un Proctor et un C.B.R. à 2 % d'argile et 2,6 % fines P.E.B.;
3- un Proctor et un C.B.R. à 5 % d'argile;
4- un Proctor et un C.B.R. à 8 % d'argile et 2 % fines P.E.B.;
5- un Proctor et un C.B.R. à 10 % d'argile et 2 % fines P.E.B.;
6- un Proctor et un C.B.R. à 14 % d'argile et 1,7 % fines P.E.B.;

7- un essai au bleu de méthylène pour chaque mélange;
8- perméabilité à 4,6 %;
9- perméabilité à 10 %.

Les problèmes rencontrés sont les mêmes qu'en 3.3, ce qui explique la présence de fines provenant du sable dans nos mélanges. Nous avons donc dû refaire des essais en passant le sable au tamis 80 microns; ceci pour déterminer l'influence de l'argile aux bas pourcentages de passant 80 microns.

Par ailleurs, la difficulté d'homogénéisation du mélange était beaucoup plus grande au fur et à mesure que la quantité d'argile incorporée au mélange augmentait. Ceci entraînait, à de basses teneurs en eau, la formation de nids d'abeilles lors du compactage à l'interface moule-mélange, diminuant donc la masse volumique au Proctor.

4- ANALYSE DES RÉSULTATS

4.1 Généralités

Tous les principaux résultats de cette étude sont rassemblés aux tableaux 4.1, 4.2, 4.3, 4.4.

4.1.1 Étude des distributions granulométriques

La figure 1 montre les deux fuseaux d'exigence granulométrique du C.C.D.G. pour les fondations supérieure et inférieure. Rappelons que nous avons choisi pour cette étude de faire varier le pourcentage de fines d'un matériau qui présente initialement le profil de la limite inférieure du fuseau de la fondation supérieure; les échantillons reconstitués ont donc successivement l'allure des courbes dessinées en pointillé à la figure 1. Les fines utilisées furent d'abord des fines P.E.B. silteuses, puis des fines Darkbell argileuses, pour les mêmes pourcentages croissants.

Au cours de nos essais, le pourcentage de pierre est toujours resté constant (65 % environ), et on a fait diminuer le pourcentage de sable au profit du pourcentage de fines. On aurait pu décider de conserver le même pourcentage de sable, jusqu'au calibre correspondant au pourcentage de fines choisi; les courbes granulométriques obtenues, parallèles au pourcentage de fines adopté et horizontales dans la partie inférieure du fuseau, viendraient rejoindre l'une après l'autre la limite inférieure du fuseau. Il est possible dans ces cas-là que l'indice C.B.R. obtenu soit moindre, la distribution granulométrique étant moins régulière. Par contre, en acceptant de perdre un peu de pourcentage de pierre, on pourrait peut-être redonner un peu de régularité à la courbe granulométrique. Il serait donc intéressant d'en faire l'étude. De la même façon il est suggéré de reprendre

l'étude pour les mêmes matériaux, ou d'autres, qui suivraient la limite supérieure du fuseau d'exigence de la fondation supérieure, ou la limite inférieure du fuseau de la fondation inférieure.

Les figures 2 à 25 donnent le profil précis de la courbe granulométrique de chaque échantillon, pour les différents pourcentages de gravier, sable, particules fines, avant et après l'essai Proctor.

4.1.2 Fragmentation

L'essai C.B.R. est réalisé sur un spécimen qui a été densifié à 95 % du Proctor. Les figures 2 à 25 indiquent que la granulométrie initiale est modifiée par l'impact Proctor, tout en restant dans le fuseau d'exigence (sauf si on dépasse 8 % de particules fines). Cette fragmentation (de la partie pierre) concerne 8,5 % du matériel P.E.B. et 10,6 % du matériel Saint-Damien, soit, sur le 65 % de pierre, 5,5 % pour P.E.B., 6,9 % pour Saint-Damien. Le pourcentage de fragmentation est un peu plus fort sur le matériau schisteux que sur le matériau granitique. Ces valeurs seraient sans doute un peu moins élevées si le pourcentage de pierre avait été moindre.

4.1.3 Quantité et qualité des particules fines

On a déjà une idée de l'influence de la quantité des particules fines puisque le C.C.D.G. demande que le pourcentage de passant 80 µm n'excède pas 8 %. Cette exigence est réclamée quelle que soit la qualité de ces fines; elle devrait pourtant être affinée, car la sorte de fines influence vraisemblablement la capacité portante, pour un pourcentage donné de particules fines. C'est pourquoi nous avons voulu réaliser un essai C.B.R. sur deux mélanges à deux sortes de fines différentes, pour les pourcentages successifs; plusieurs autres qualités de particules pourront être testées dans l'avenir.

4.2 Essais Proctor

Les courbes Proctor sont présentées aux figures 26 à 29. La teneur en eau optimum est proche de 5 % pour P.E.B., entre 5 et 6 % pour Saint-Damien, aussi bien dans le cas des fines silteuses P.E.B. que des fines argileuses Darkbell. La masse volumique est maximum pour un pourcentage bien marqué de fines silteuses à 10 %; elle est tout de même élevée à 8 % et à 12 %, plus faible à 4,6 % et 15,7 %, très faible à 21 %. Si les fines sont argileuses, le maximum se situe plutôt à 8 %, avec des valeurs élevées à 10 % et à 5 %, faibles à 2 % et à 14 %. Ces résultats de masse volumique maximum, confirmés par les figures 30 et 31, laissent présager d'ores et déjà les deux points suivants :

- on pourrait d'une part se permettre d'accepter des matériaux à plus de 8 % de fines non argileuses, en tout cas 10 %, voire 12 %;
- on devrait d'autre part être plus sévère (moins de 8 %) si ce tamisat 80 µm est constitué de fines argileuses.

Les figures 32 et 33 indiquent que la teneur en eau optimum n'est relativement pas influencée par le pourcentage de fines, sauf s'il excède 15 %.

Rappelons que les pourcentages de particules argileuses notés dans ce paragraphe, ne comprennent pas le 2 % environ de particules non argileuses supplémentaires, que contenaient les échantillons testés (particules présentes dans le sable GL 100 utilisé).

4.3 Essais C.B.R.

Les échantillons sont densifiés à 95 % du Proctor modifié. Les résultats sont présentés aux figures 34 et 35 et sont très évocateurs. Notons d'abord que les points à 10 %, 12 % et 15,7 % dans le cas des fines argileuses, correspondent en fait à 8 %, 10 % et 14 % de fines argileuses, +2 %, +2 % et +1,7 % respectivement, de fines non argileuses. Si ces 2 %

supplémentaires avaient été des fines argileuses, les valeurs C.B.R. correspondantes auraient probablement été un petit peu plus faibles, puisque les fines non argileuses confèrent à l'échantillon une meilleure stabilité que les fines argileuses.

Les figures 34 et 35 amènent les commentaires suivants :

- À pourcentages de fines identiques, l'indice C.B.R. est beaucoup plus fort si les fines ne sont pas argileuses (fines P.E.B.) que si elles le sont (fines Darkbell), que l'échantillon soit granitique ou schisteux: le pourcentage croissant d'argile confère au mélange un peu plus de cohésion mais un angle de frottement beaucoup plus faible: les particules argileuses ont un effet lubrifiant; les grains de sable et les graviers ont tendance à glisser les uns par rapport aux autres, sous l'effet de la charge du poinçon C.B.R., légèrement plus pour les grains plutôt arrondis de P.E.B. que pour les grains plutôt plats et allongés de Saint-Damien; la décroissance est d'ailleurs un peu plus forte pour P.E.B. que pour Saint-Damien.

- Toutes les valeurs C.B.R. sont plus fortes pour le matériau granitique que schisteux, quelle que soit la sorte de fines. Mais l'allure des courbes est semblable pour les deux sortes de matériaux, quelle que soit la qualité et la quantité des fines.

- Les fortes valeurs C.B.R. sont dues à la bonne qualité des granulats et des fines, mais aussi à la bonne graduation de la granulométrie de ces échantillons reconstitués. La décroissance vers des valeurs C.B.R. faibles provient donc en particulier de la cassure à 5 mm (figure 1) infligée à la granulométrie initiale, mais aussi à la qualité plus argileuse des fines utilisées. L'écart

entre les courbes avec et sans argile est en effet très important aux figures 34 et 35, que le matériau soit granitique ou schisteux. Nous pensons que les fortes valeurs C.B.R. (jusqu'à 400 pour P.E.B. et 250 pour Saint-Damien) obtenues pour ces matériaux idéaux, reflètent effectivement la bonne stabilité qu'on pourrait obtenir si la fondation était construite avec ces matériaux à granulométrie très graduelle. Ces matériaux ont été tamisés puis reconstitués pour suivre une courbe granulométrique idéale, voisine de la limite inférieure du fuseau d'exigence de la fondation supérieure (voir Cahier des charges et devis généraux du ministère des Transports). En augmentant progressivement le pourcentage de fines, la courbe granulométrique "se casse" progressivement.

Notons enfin qu'un C.B.R. de 400 ne veut pas dire que la portance est 4 fois plus forte que celle d'un matériau ayant un C.B.R. de 100; à partir de 100 - 120, la portance n'est plus proportionnelle à la valeur C.B.R.

- Dans le cas des particules fines non argileuses P.E.B., le maximum de l'indice C.B.R. pour le matériau granitique est situé entre 8 % et 12 % de passant 80 μm; un pourcentage de 15 % pourrait être acceptable bien souvent. Pour le matériau schisteux, le maximum est de 10 % de passant 80 μm; 12 % peut être acceptable.

- Dans le cas des particules fines argileuses (Darkbell), le maximum de l'indice C.B.R. pour le matériau granitique est à 2 % de fines; 5 % est encore acceptable, mais 8 % de fines apparaît trop élevé. Pour le matériau schisteux, le maximum correspond à 5 % de passant 80 μm; il se situe même à 2 %, suite à la reprise d'essais C.B.R. sur un mélange contenant du sable P.E.B. (GL 100 + GL 6300) tamisé, pour suivre parfaitement la limite inférieure du fuseau d'exigence; 7 ou 8 % semblent déjà trop élevés, peut-être même 6 %.

- Les figures 34 et 35 semblent indiquer que les valeurs C.B.R. sont légèrement moindres avant le maximum de 10 % de fines non argileuses. Avant le maximum, les vides ne sont pas tous comblés, le mélange est un peu plus compressible; au maximum, les vides sont comblés, la masse volumique est très forte, le mélange est incompressible. Quand le pourcentage de fines devient élevé, les vides sont comblés, la masse volumique diminue, mais le surplus de fines rend le mélange compressible.
  Dans le cas des fines argileuses, cette observation n'existe pratiquement pas. On comprend de plus qu'à très faible pourcentage de fines (2 %), les valeurs C.B.R. soient relativement voisines, que les fines soient argileuses ou non, aussi bien pour les granulats granitiques que schisteux. Notons que les courbes en pointillé de 2 % à 5 % (figures 34 et 35) proviennent de la reprise d'essais C.B.R. à 2 %, en utilisant un sable P.E.B. tamisé pour suivre parfaitement la limite inférieure du fuseau.

4.4 Valeur de bleu

La figure 36 confirme que les fines P.E.B. ne sont pas argileuses puisque la valeur de bleu reste faible. À la figure 37, on constate que la proportion d'argile Darkbell fait augmenter la valeur de bleu. Si on fixe la limite admissible de passant 80 μm à 6 % d'argile (environ 14 % de passant 400 μm), la valeur de bleu correspondante est de 0,20 (VB_t = 0,03). Si on admet 8 % de fines (environ 17 % de passant 400 μm) dans le cas du gravier granitique P.E.B. (qui est plus stable que le gravier schisteux Saint-Damien), on trouve VB_{400} = 0,25. La relation valeur de bleu versus indice C.B.R. aurait facilement pu être tracée, pour confirmer ces pourcentages admissibles; on admet que la stabilité demandée corresponde à C.B.R. (0,1") = 100.

Rappelons que cette VB_{400} est déterminée sur 100 % passant 400 μm; quand on rapporte cette valeur de bleu au réel pourcentage de passant 400 μm, la nouvelle VB_t (tableaux 4.3 et 4.4) est plus faible et plus représentative du matériau. VB_{400} est cependant plus facile à utiliser, plus significatif, et n'altère pas beaucoup le résultat (le pourcentage de particules passant le tamis 400 μm avoisine toujours 15 %).

On comprend que la différence de portance due à deux graviers de nature différente ne puisse pas être détectée par l'essai au bleu de façon suffisamment précise. Dans le cas de cette étude, le seuil de valeur de bleu pourrait être fixé à 0,20 (Saint-Damien) ou 0,25 (P.E.B.); au-delà de cette valeur, le pourcentage d'argile Darkbell devient préjudiciable à la stabilité de la chaussée. En fait, on peut quasiment donner la limite $VB_{400} = 0,20$ ($VB_t = 0,03$) quel que soit le granulat (pour un matériau d'environ 15 % de passant 400 μm).

4.5 Essais de perméabilité

Quelques essais de perméabilité ont été réalisés sur des échantillons densifiés au Proctor, ayant 11,64 cm de hauteur, dans un moule de 15,24 cm de diamètre. Les courbes volume-temps sont rassemblées aux figures 38 à 46. Les résultats sont rassemblés dans le tableau ci-dessous, en m/s, et sont consistants.

	4,6 % fines P.E.B.	10 % fines P.E.B.	15,7 % fines P.E.B.	5 % argile	10 % argile +2 % P.E.B.
P.E.B.	$9,5\ 10^{-7}$	$1,8\ 10^{-7}$	$1,8\ 10^{-8}$		$9,5\ 10^{-8}$
Saint-Damien	$7,3\ 10^{-7}$	$2,5\ 10^{-8}$	$1,1\ 10^{-8}$	$1,2\ 10^{-8}$	$2,1\ 10^{-8}$

Le coefficient de perméabilité diminue si on augmente le pourcentage de fines, ou si on remplace les fines P.E.B. par de l'argile. Les variations ne sont toutefois pas très grandes, à ce niveau élevé de consolidation. Les figures 41 et 46 indiquent que les mesures ont été prises alors que l'écoulement n'était pas stabilisé; les chiffres de la dernière colonne du tableau (10 % d'argile) devraient donc être plus petits.

On remarquera la faible perméabilité des mélanges à ces niveaux de compactage Proctor, ce qui laisse présager un drainage de chaussée insuffisant. Pour étudier ce problème, on suggère de travailler la relation perméabilité versus pourcentage de fines (en quantité et en qualité) versus stabilité.

Cette étude pourrait être faite conjointement avec celle des effets du gel-dégel, en essayant de quantifier les susceptibilités au gel des différents mélanges, à pourcentages différents de particules plus ou moins argileuses.

5- CONCLUSION

Il est difficile d'étendre les résultats de cette étude sur les pourcentages de fines admissibles dans les fondations routières, à tous les genres de matériaux. Il semble cependant que les valeurs admissibles suggérées dépendent bien plus de la qualité des fines, que de la qualité des granulats : pour les deux qualités différentes de granulats utilisés (l'un granitique, l'autre schisteux), la portance chute de la même façon et drastiquement dans les deux cas, quand on passe des fines silteuses aux fines argileuses. Les deux granulats ayant des bonnes qualités, il faudra tout de même tester un exemple de granulat de mauvaise qualité. Il est possible aussi que la forme de la courbe granulométrique ait une quelconque influence sur la chute de C.B.R. versus qualité des fines. Il sera nécessaire enfin d'essayer encore d'autres sortes de fines.

On peut néanmoins faire ressortir les tendances suivantes :

- La capacité portante d'un sable et gravier soumis au compactage est fortement influencée par la quantité et par la qualité (par le degré d'argilosité) des particules fines qu'il contient.

- Il semble que la limite de 8 % de passant 80 μm exigée par le C.C.D.G. pour la fondation supérieure, puisse être rehaussée sans danger pour la stabilité routière, à 10 %, voire 12 % dans certains cas, si les particules fines du matériau ne sont pas argileuses, et si le pourcentage de pierre est voisin de 65 %.

- Par contre, cette même limite de 8 % est trop élevée si les fines sont argileuses, et devrait être fixée à 6 % au moins, voire 5 %.

- L'essai au bleu de méthylène apparaît comme un bon moyen pour apprécier la pollution, soit, dans une certaine mesure, la portance, d'un sable et gravier. Si la valeur de bleu VB_{400} est très faible (<0,1), on saura que le matériau a des chances d'être stable (pas ou très peu de particules argileuses), sans pouvoir dire toutefois s'il répond à l'exigence sur le pourcentage passant 80 µm ou sur la portance. Par contre, si VB_{400}>0,1, le matériau contient des particules argileuses; si ce matériau est connu, que sa portance a déjà été étudiée ou que le pourcentage de fines est fixé, on peut trouver le seuil de valeur de bleu à partir duquel on peut décider en bonne connaissance de cause, d'accepter ou de refuser d'autres échantillons de la même provenance. Par exemple, dans le cas de cette étude (c'est-à-dire pour de l'argile Darkbell), le seuil peut être fixé à 0,20, quasiment indépendamment du granulat (0,20 pour Saint-Damien, 0,25 pour P.E.B.). Autrement dit, pour une qualité d'argile donnée, l'essai au bleu permet de refuser un matériau qui en contient une trop grande quantité.

Par ailleurs, nous prévoyons que les caractéristiques spécifiques de l'argile (du moment que ses propriétés sont bien celles de particules vraiment argileuses) n'ont pas une influence si prédominante, et que VB = 0,20 ou 0,25 est probablement une valeur limite à retenir. Cette étude devra donc se poursuivre, conjointement si possible à des expériences in situ, où les teneurs en eau sont bien souvent différentes de celles du laboratoire. Il faudra alors réduire sans doute davantage le pourcentage admissible de particules fines, argileuses surtout, mais silteuses aussi, car les matériaux de fondation seront trop imperméables, de moins bonne qualité que ceux de cette étude, et avec un plus fort pourcentage de sable. Les chutes de portance dues aux fines sont peut-être

moins spectaculaires pour des matériaux à pourcentage de sable plus élevé. Il semblerait même que la portance de sables fins augmente avec la pollution, c'est-à-dire avec la quantité et l'activité des fines.

Il reste donc à préciser pour le plus grand nombre de types de matériaux possibles (en particulier selon le pourcentage de sable), le pourcentage optimum de fines selon leur nature, en regard de la stabilité et de la perméabilité nécessaires au bon comportement de la fondation routière.

GRAVIER P.E.B.

Composants	%
Syénite	4
Granite	22
Gneiss granitique	66
Gneiss à biotite et à hornblende	2
Gneiss décomposé	3
Nombre pétrographique:	119

Tableau 2.1

	Densité		Absorption	
	naturel	concassé	naturel	concassé
Retenu 5 mm	2,6	2,6	1,0	1,2
retenu 10 mm	2,6	2,6	0,8	0,9
retenu 14 mm	2,6	2,6	0,7	0,7

	% Pertes	
	naturel	concassé
Micro Deval	11,0	11,0
Los Angeles	47,6	47,7
$MgSO_4$	3,3	3,5

Tableau 2.2

GRAVIER SAINT-DAMIEN

Composants	%
Schiste argileux	12
Schiste à chlorite	36
Quartzite	11
Grès	41
Nombre pétrographique:	189

Tableau 2.3

	Densité	Absorption
Retenu 5 mm	2,6	2,2
retenu 10 mm	2,6	2,0
retenu 14 mm	2,6	1,5
	% Pertes	
Micro Deval	42,0	
Los Angeles	30,4	
$MgSO_4$	22,8	

Tableau 2.4

ANALYSE CHIMIQUE DES PARTICULES
PASSANT LE TAMIS 80 MICRONS

Composé	argile Darkbell %	fines P.E.B. %
SiO_2	56,6	64,8
Al_2O_3	28,0	15,4
Fe_2O_3	1,11	6,09
MgO	0,29	1,21
CaO	0,11	2,53
Na_2O	0,15	3,20
K_2O	0,43	3,98
TiO_2	1,82	0.71
MnO	<0,01	0,07
P_2O_5	0,06	0,30
PAF	11,6	1,67

Tableau 2.5

t

CARACTÉRISTIQUES DES PARTICULES FINES

	Argile (%)	Fines P.E.B. (%)
Limite de liquidité	79,9	32,1
indice de plasticité	52,8	12,3
densité	2,58	2,70
passant 80 µm	99,3	99,9
passant 5 µm	88,8	13,3
passant 2 µm	80,5	3,4
passant 1 µm	73,8	0,3

Tableau 2.6

GRAVIER P.E.B.

% Fines (<80 μm)	4,6 %	8 %	10 %	12 %	15,7 %	21 %
Teneur en eau optimum (%)	5,1	5,2	4,7	5,3	5,8	6,9
masse volumique maximum (kg/m^3)	2260	2284	2313	2290	2279	2234
w au C.B.R. (%)	5,0	4,9	4,5	5,0	5,2	6,6
C.B.R. à 0,1"	245	361,8	336	364,5	235	105
C.B.R. à 0,2"	286,7	450	408	423	306,7	142,2
valeur au bleu VB_{400}	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	
perméabilité (cm/s)	9,5E-05		1,8E-05		1,8E-06	

Limite inférieure du fuseau
(2 % de fines silteuses)

w(%) optimum	$\rho_d$max (kg/m^3)	w(%) C.B.R.	C.B.R. 0,1"	C.B.R. 0,2"
5,3	2250	5,3	290	352

Tableau 4.1

GRAVIER SAINT-DAMIEN

% Fines (<80 µm)	4,6 %	8 %	10 %	12 %	15,7 %	21 %
Teneur en eau optimum (%)	5,5	5,8	5,8	6,0	6,1	7,1
masse volumique maximum (kg/m^3)	2257	2253	2304	2262	2258	2232
w au C.B.R. (%)	5,5	5,5	5,5	5,7	5,5	6,3
C.B.R. à 0,1"	167,5	153,8	198	135	80	87,5
C.B.R. à 0,2"	175	199,5	246,7	165	104	115,3
valeur au bleu (VB_{400})	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	
perméabilité (cm/s)	7,3E-05		2,5E-06		1,1E-06	

Limite inférieure du fuseau
(2 % de fines argileuses)

w(%) optimum	$\rho_d$max (kg/m^3)	w(%) C.B.R.	C.B.R. 0,1"	C.B.R. 0,2"
5,5	2220	5,5	147	171

Tableau 4.2

GRAVIER P.E.B.

% Fines	argile Darkbell / silt P.E.B.	2 % + 0 %	2 % + 2,6 %	5 % + 0 %	8 % + 2 %	10 % + 2 %	14 % + 1,7 %
Teneur en eau optimum (%)		5,6	5,2	5,0	4,7	4,5	5,5
masse volumique maximum (kg/m^3)		2209	2281	2278	2286	2287	2249
w au C.B.R. (%)		5,5	4,9	4,8	4,5	4,3	5,2
C.B.R. à 0,1"		187	210	156	73	83,7	62,5
C.B.R. à 0,2"		215	205	186,7	104	108,1	72,5
valeur au bleu (VB_{400})		0,08	0,03	0,17	0,30	0,37	0,49
perméabilité (cm/s)						9,5E-06	
VB_t		0,009	0,004	0,02	0,05	0,07	0,10

Limite inférieure du fuseau avec un sable GL 100 tamisé (2 % de fines argileuses)

w(%) optimum	$\rho_d max$ (kg/m^3)	w(%) C.B.R.	C.B.R. 0,1"	C.B.R. 0,2"
≈5,8	≈2280	5,5	258	297

Tableau 4.3

GRAVIER SAINT-DAMIEN

% Fines	argile Darkbell / silt P.E.B.	2 % + 0 %	2 % + 2,6 %	5 % + 0 %	8 % + 2 %	10 % + 2 %	14 % + 1,7 %
Teneur en eau optimum (%)		5,5	5,9	4,8	5,2	4,8	6,2
masse volumique maximum (kg/m^3)		2220	2248	2256	2293	2283	2218
w au C.B.R. (%)		5,5	5,6	4,6	4,9	4,6	5,9
C.B.R. à 0,1"		109,3	124,8	129,4	50	50,4	29,6
C.B.R. à 0,2"		110,2	144,9	146,3	61,7	56,0	34,5
valeur au bleu (VB_{400})		0,078	0,08	0,17	0,30	0,37	0,49
perméabilité (cm/s)				1,2E-06		2,1E-06	
VB_t		0,009	0,01	0,02	0,05	0,07	0,10

Limite inférieure du fuseau avec un sable GL 100 tamisé (2 % de fines argileuses)

w(%) optimum	$\rho_d$max (kg/m^3)	w(%) C.B.R.	C.B.R. 0,1"	C.B.R. 0,2"
≈6,3	≈2265	5,5	180	208

Tableau 4.4

GRANULOMÉTRIES DES MÉLANGES UTILISÉS

MÉLANGES	4,6 %	8 %	10 %	12 %	15,7 %	21 %	2 %	5 %
tamis % passant								
20 mm	100	100	100	100	100	100	100	100
14 mm	68	68	68	68	68	68	68	68
10 mm	52	52	52	52	52	52	52	52
5 mm	33	35	33	35	33	33	35	35
2,5 mm	29	31	30	32	31	32	30	31
1,25 mm	24	26	26	28	27	30	24	25
630 µm	18	21	21	23	24	27	18	19
315 µm	11	14	15	17	20	24	9	11
160 µm	7	10	12	14	17	22	4	7
80 µm	4,6	8	10	12	15,7	21	2	5

Tableau 4.5

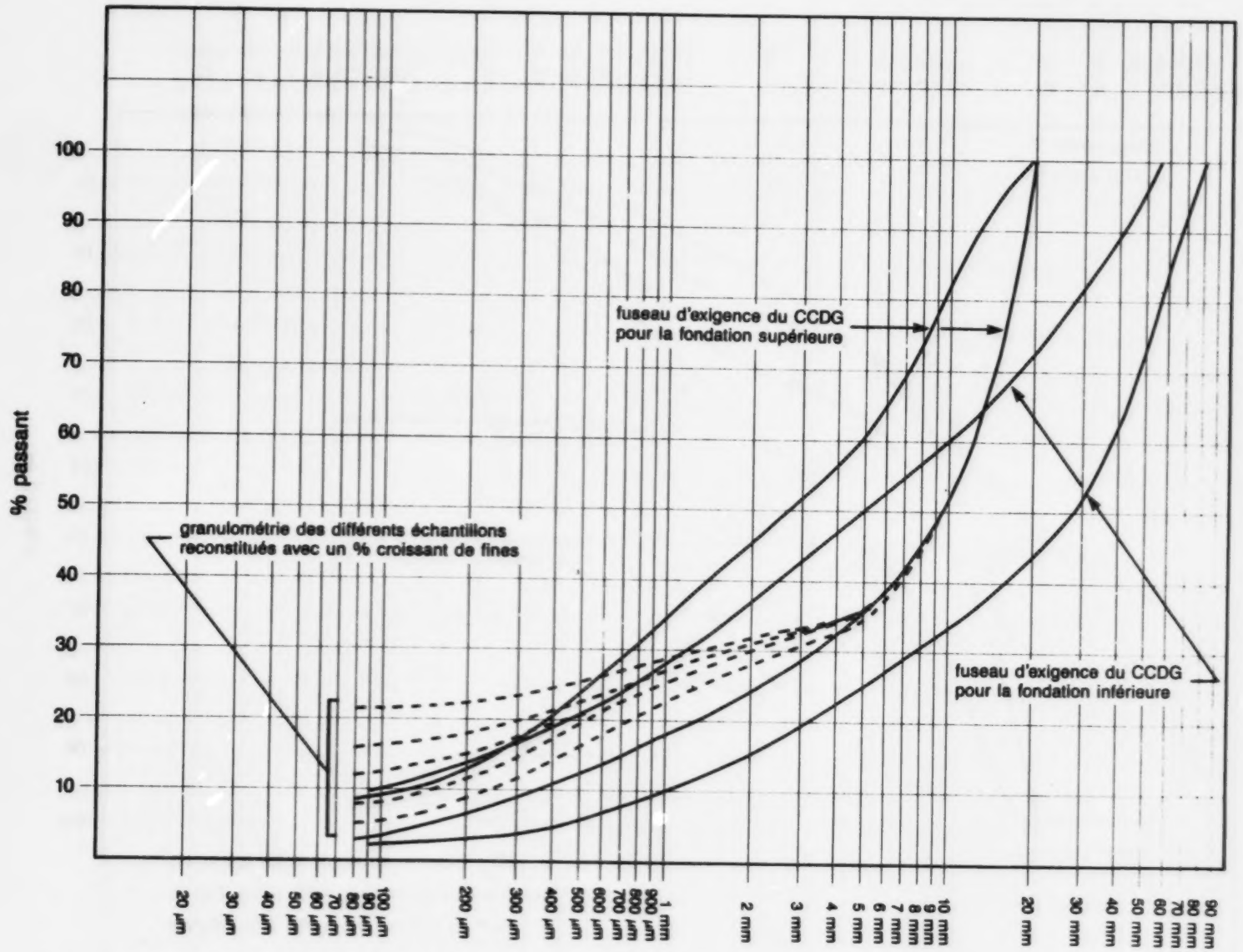
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
fuseau d'exigence du CCDG
pour la fondation supérieure
granulométrie des différents échantillons
reconstitués avec un % croissant de fines
fuseau d'exigence du CCDG
pour la fondation inférieure
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
60 µm
70 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm

Figure 1

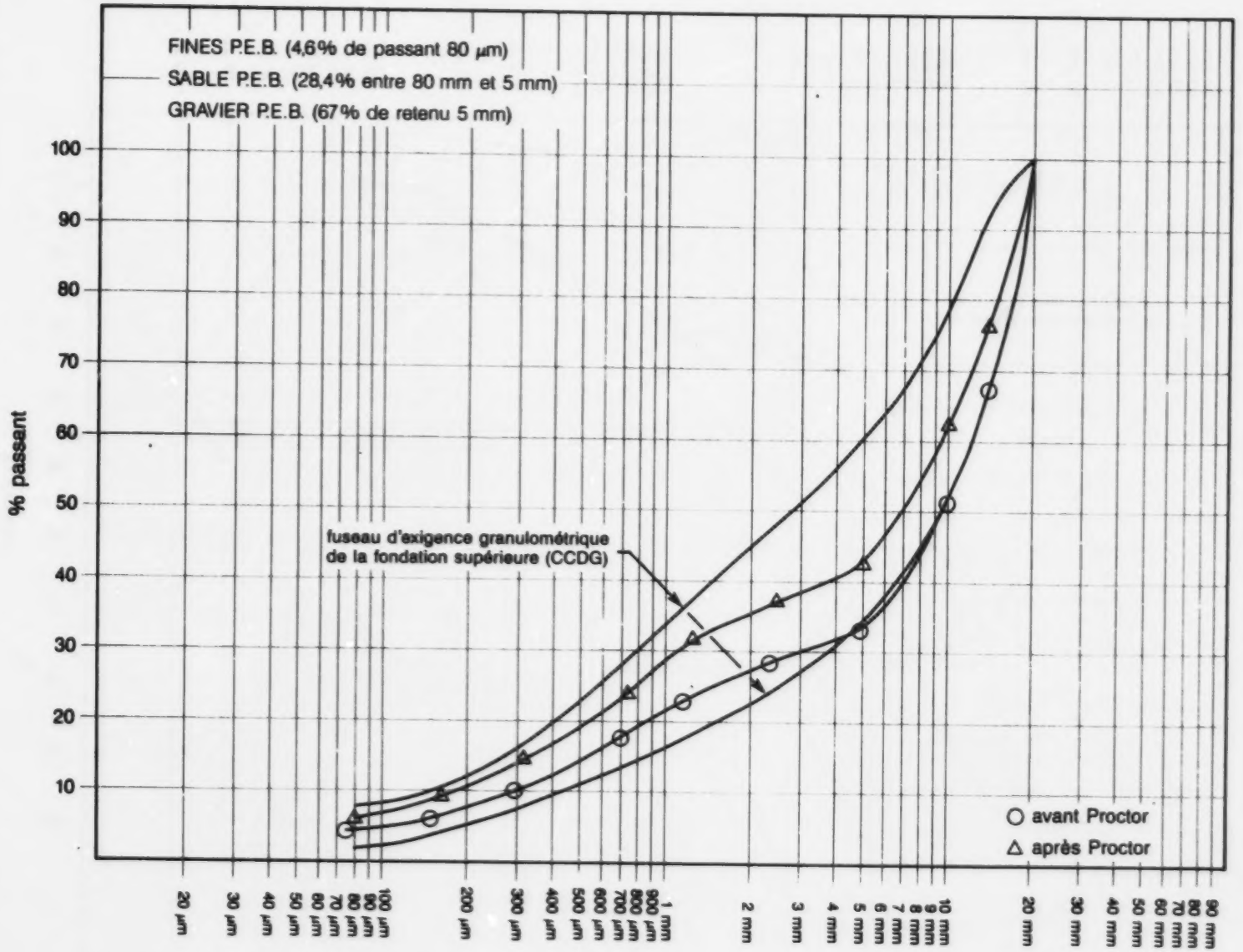
FINES P.E.B. (4,6% de passant 80 µm)
SABLE P.E.B. (28,4% entre 80 mm et 5 mm)
GRAVIER P.E.B. (67% de retenu 5 mm)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
fuseau d'exigence granulométrique
de la fondation supérieure (CCDG)
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
80 µm
72 µm
88 µm
85 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
80 mm
72 mm
88 mm
90 mm

Figure 2

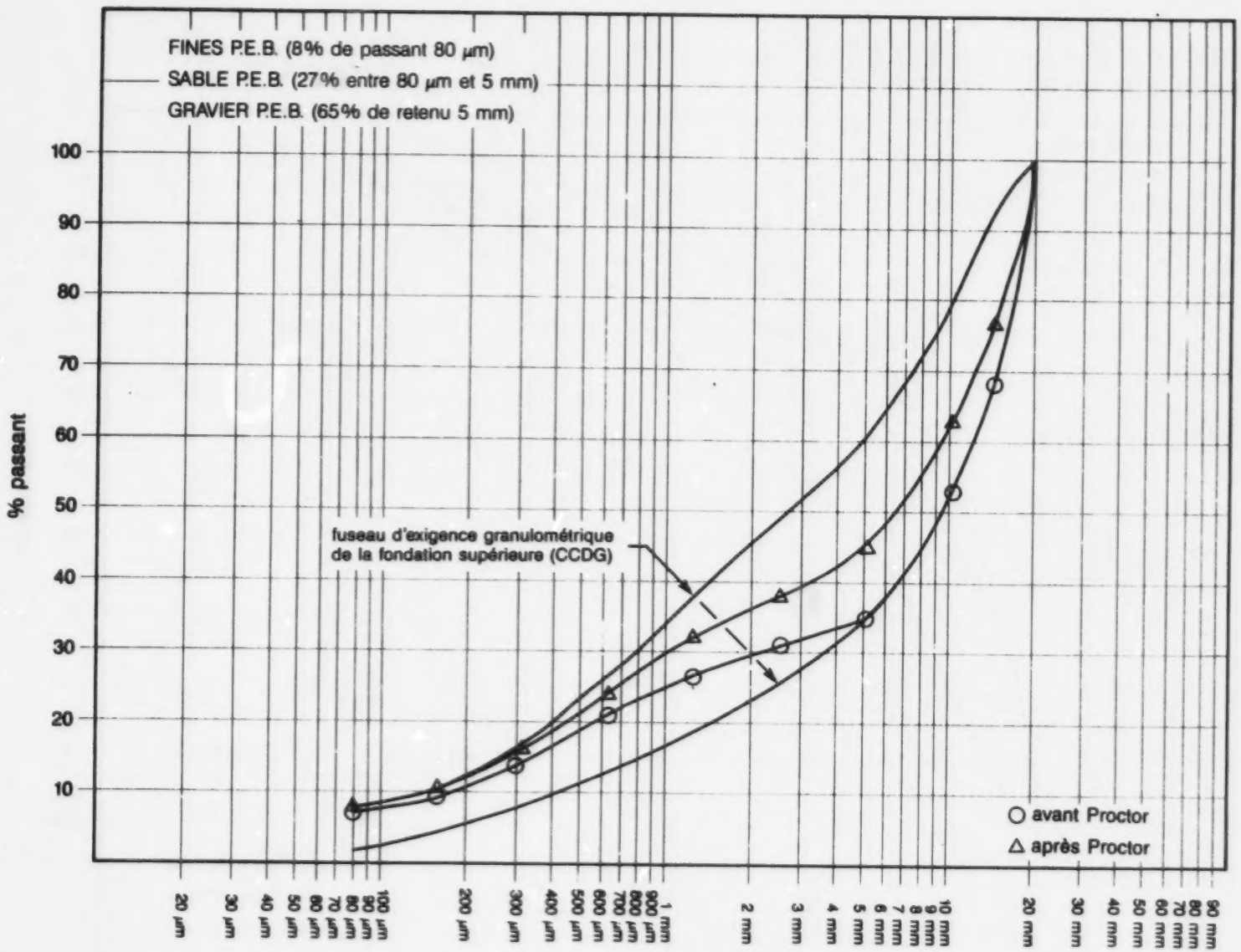
FINES P.E.B. (8% de passant 80 µm)
SABLE P.E.B. (27% entre 80 µm et 5 mm)
GRAVIER P.E.B. (65% de retenu 5 mm)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
fuseau d'exigence granulométrique
de la fondation supérieure (CCDG)
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
63 µm
72 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
72 mm
80 mm
90 mm

Figure 3

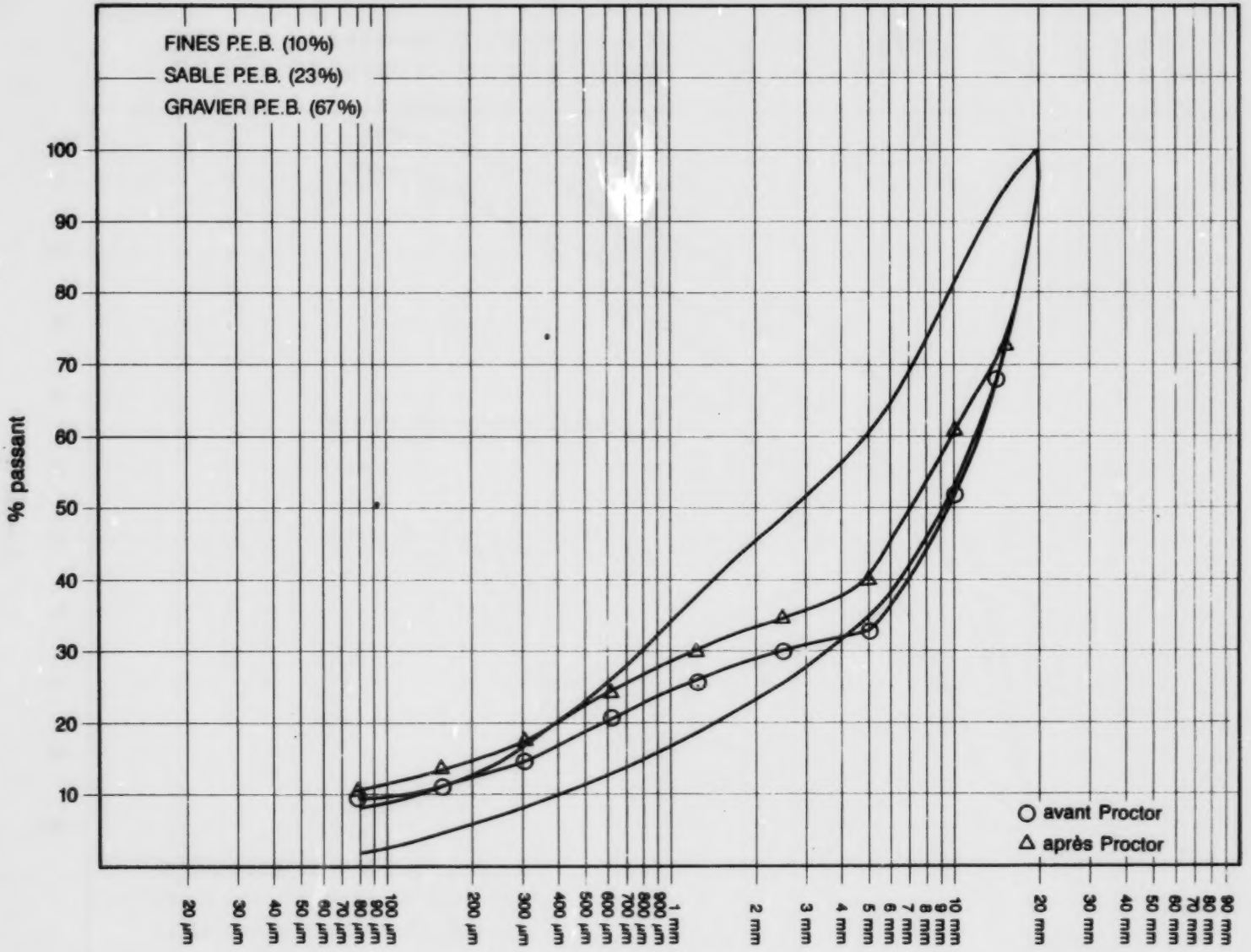
FINES P.E.B. (10%)
SABLE P.E.B. (23%)
GRAVIER P.E.B. (67%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
45 µm
60 µm
80 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
72 mm
80 mm
90 mm

Figure 4

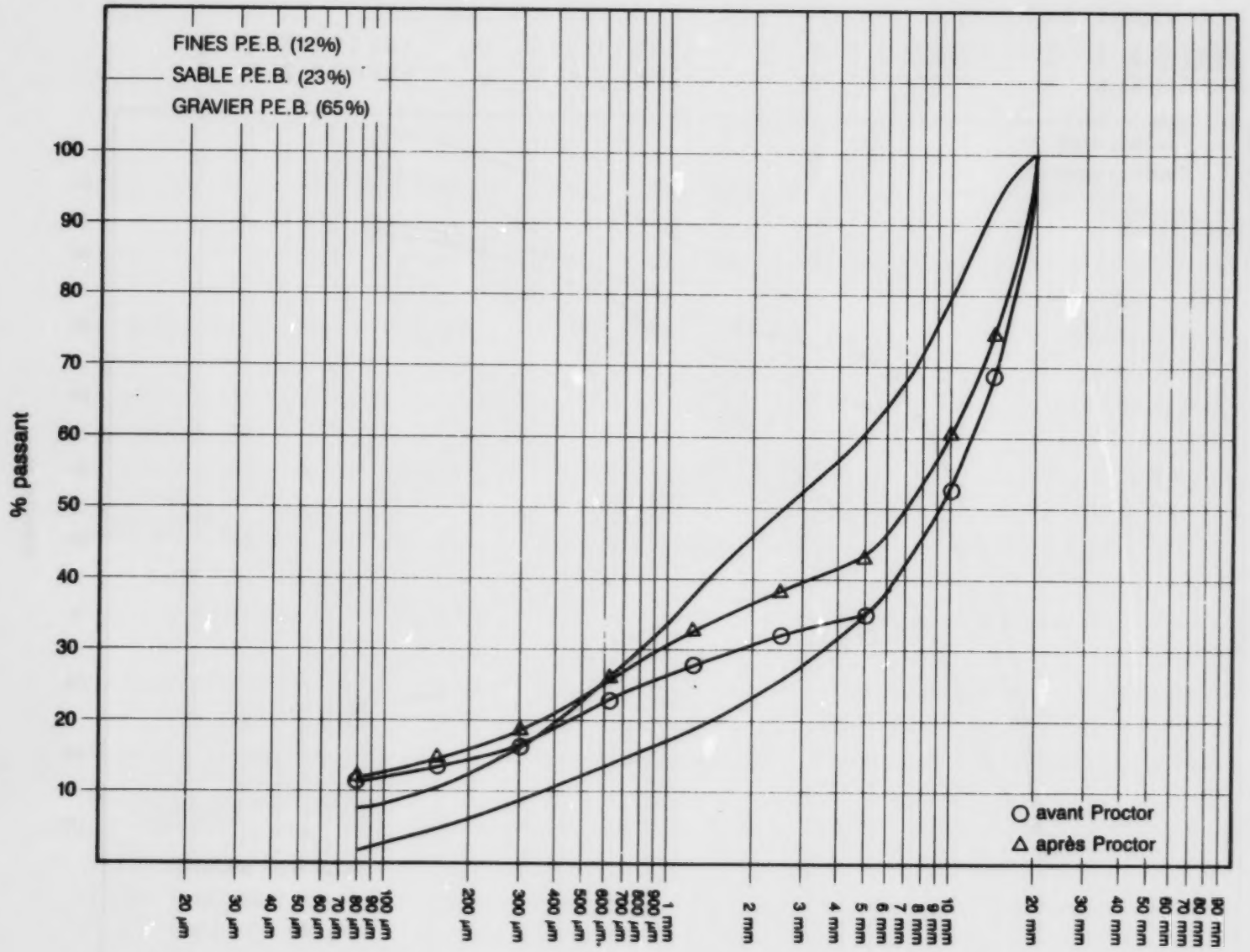
FINES P.E.B. (12%)
SABLE P.E.B. (23%)
GRAVIER P.E.B. (65%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
O avant Proctor
Δ après Proctor
20 µm
30 µm
45 µm
55 µm
80 µm
RET µm
80 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
45 mm
55 mm
80 mm
RET mm
80 mm
90 mm

Figure 5

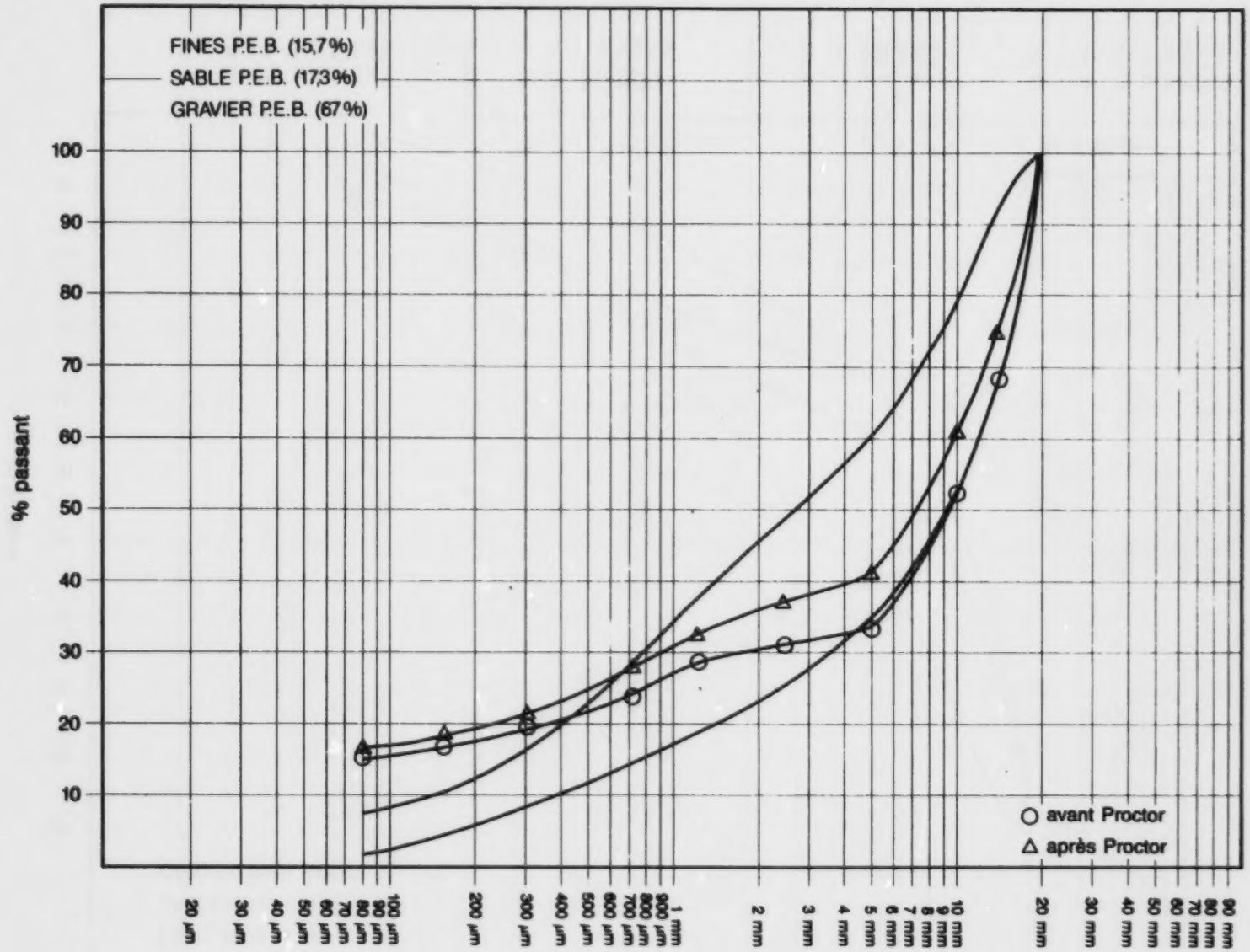
FINES P.E.B. (15,7%)
SABLE P.E.B. (17,3%)
GRAVIER P.E.B. (67%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
80 µm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
80 mm
90 mm

Figure 6

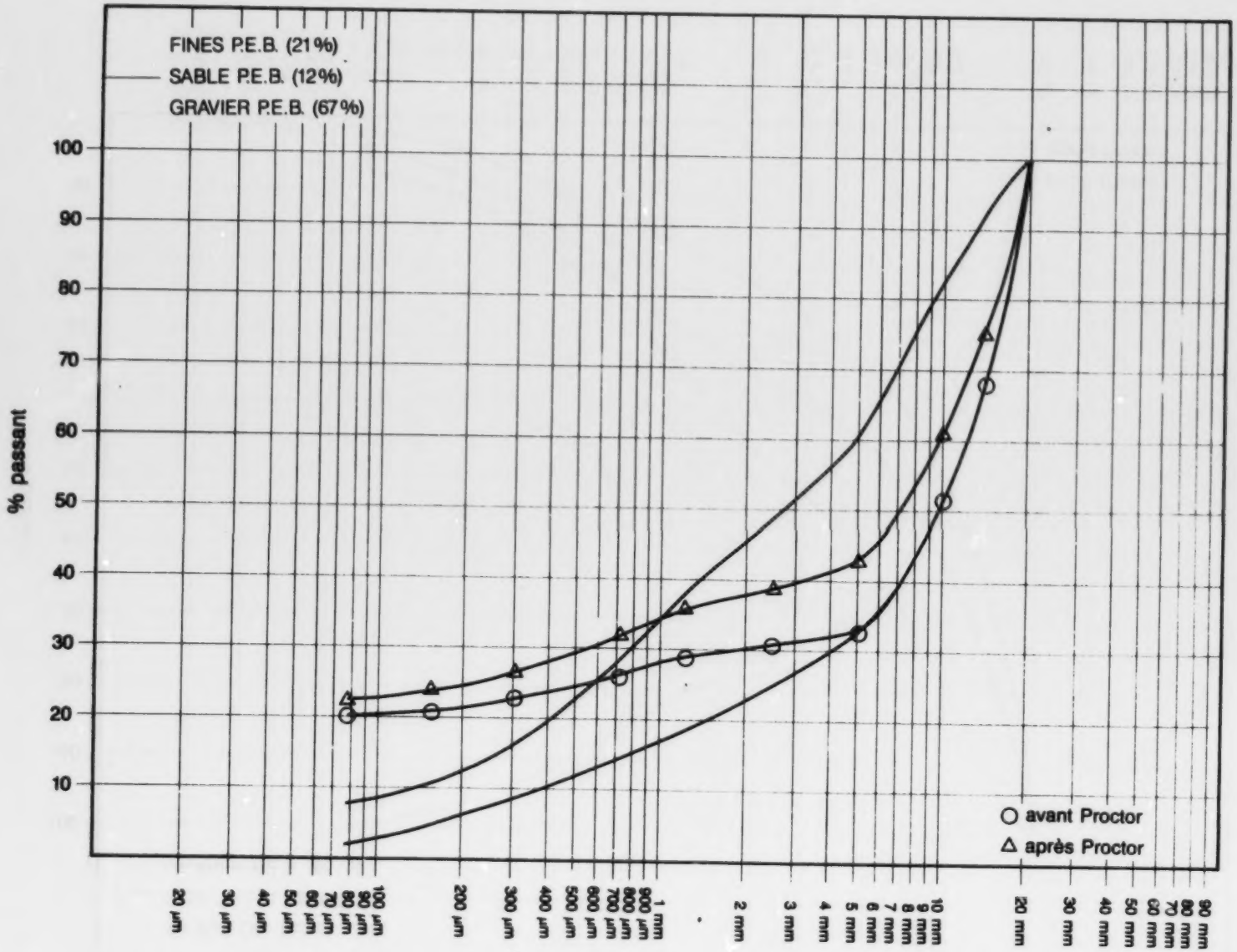
FINES P.E.B. (21%)
SABLE P.E.B. (12%)
GRAVIER P.E.B. (67%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
O avant Proctor
Δ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
60 µm
70 µm
80 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm

Figure 7

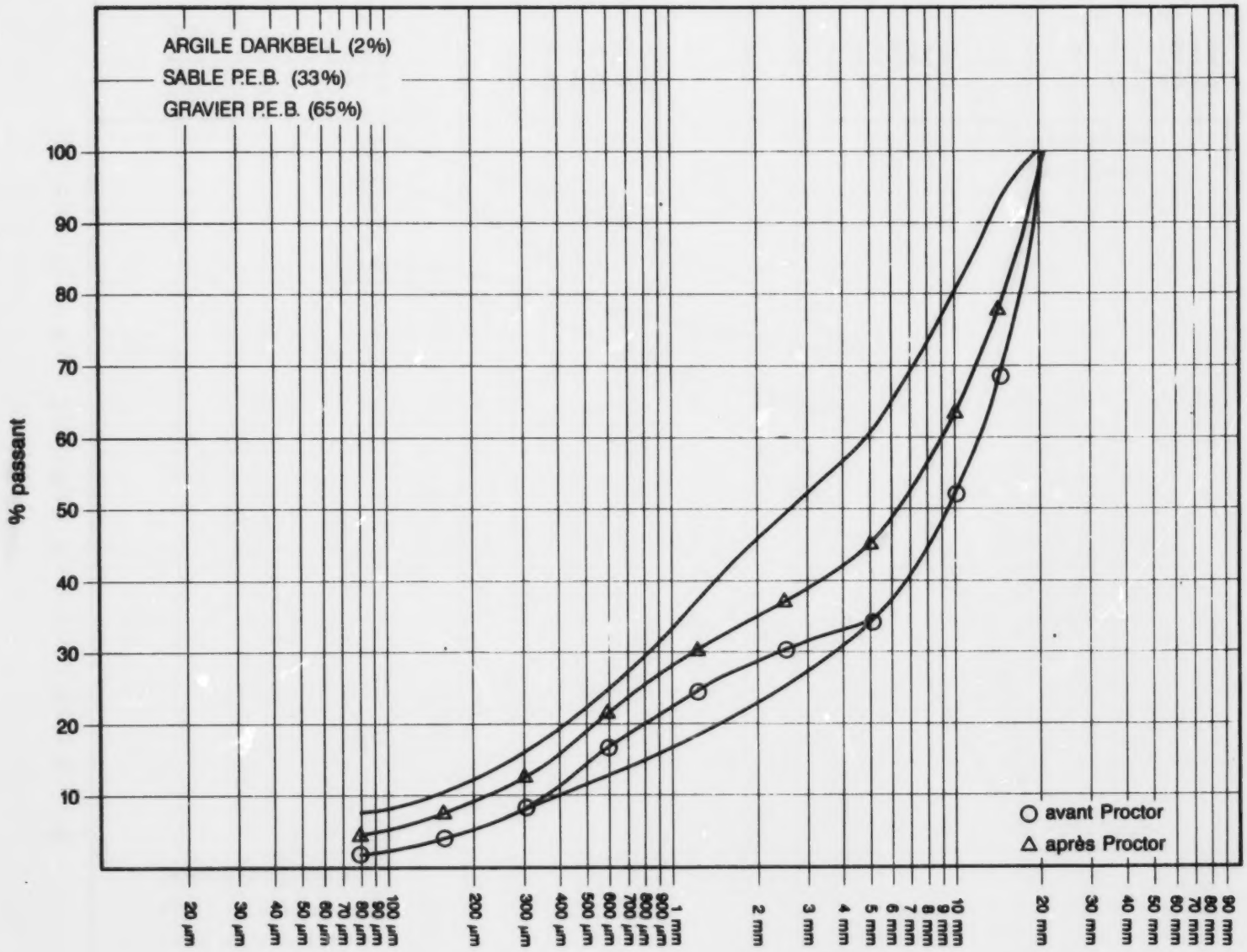
ARGILE DARKBELL (2%)
SABLE P.E.B. (33%)
GRAVIER P.E.B. (65%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
45 µm
55 µm
80 µm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
10 mm
20 mm
30 mm
45 mm
55 mm
80 mm

Figure 8

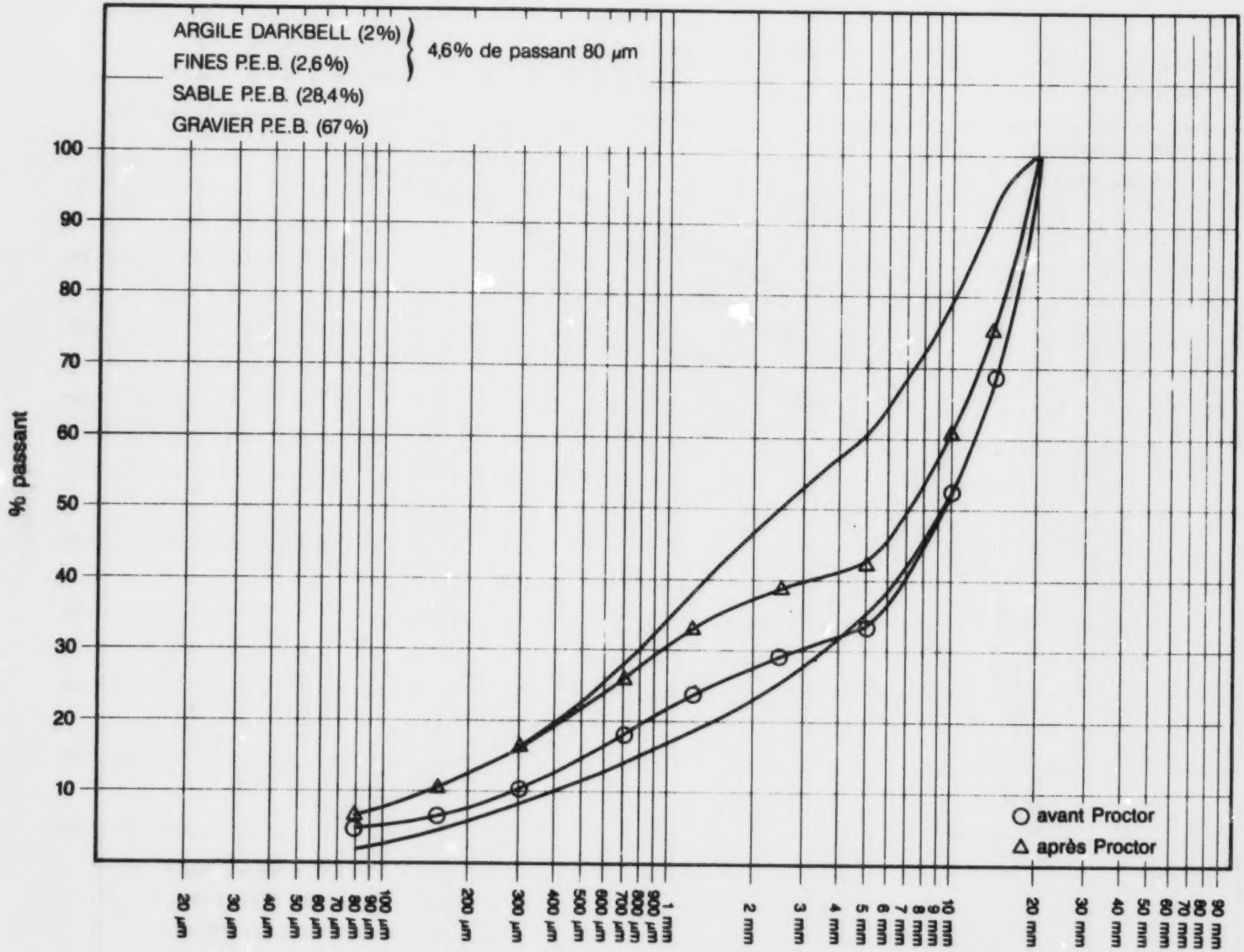
ARGILE DARKBELL (2%)
FINES P.E.B. (2,6%)
SABLE P.E.B. (28,4%)
GRAVIER P.E.B. (67%)
4,6% de passant 80 µm
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
63 µm
72 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm

Figure 9

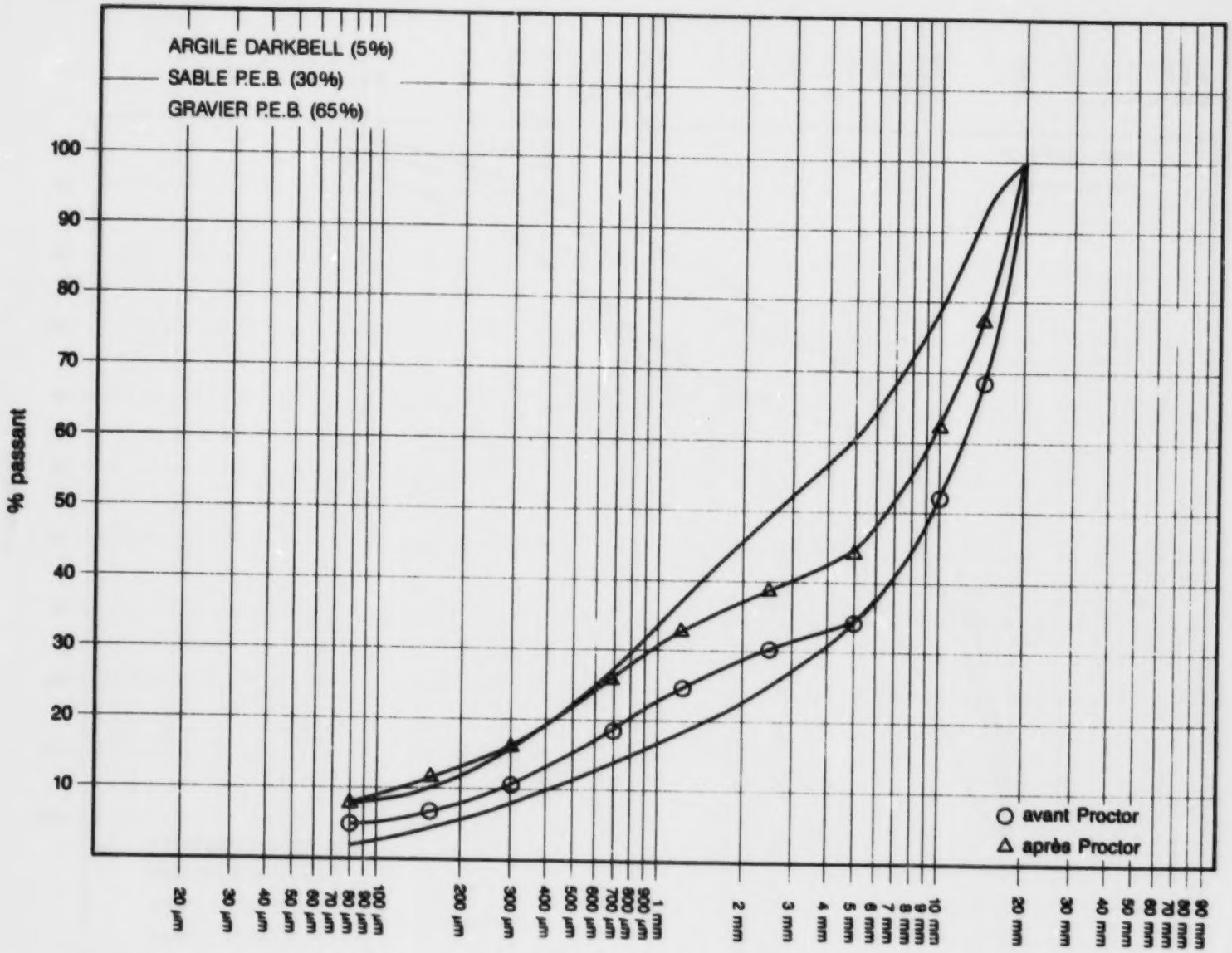
ARGILE DARKBELL (5%)
SABLE P.E.B. (30%)
GRAVIER P.E.B. (65%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
60 µm
72 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm
○ avant Proctor
△ après Proctor

Figure 10

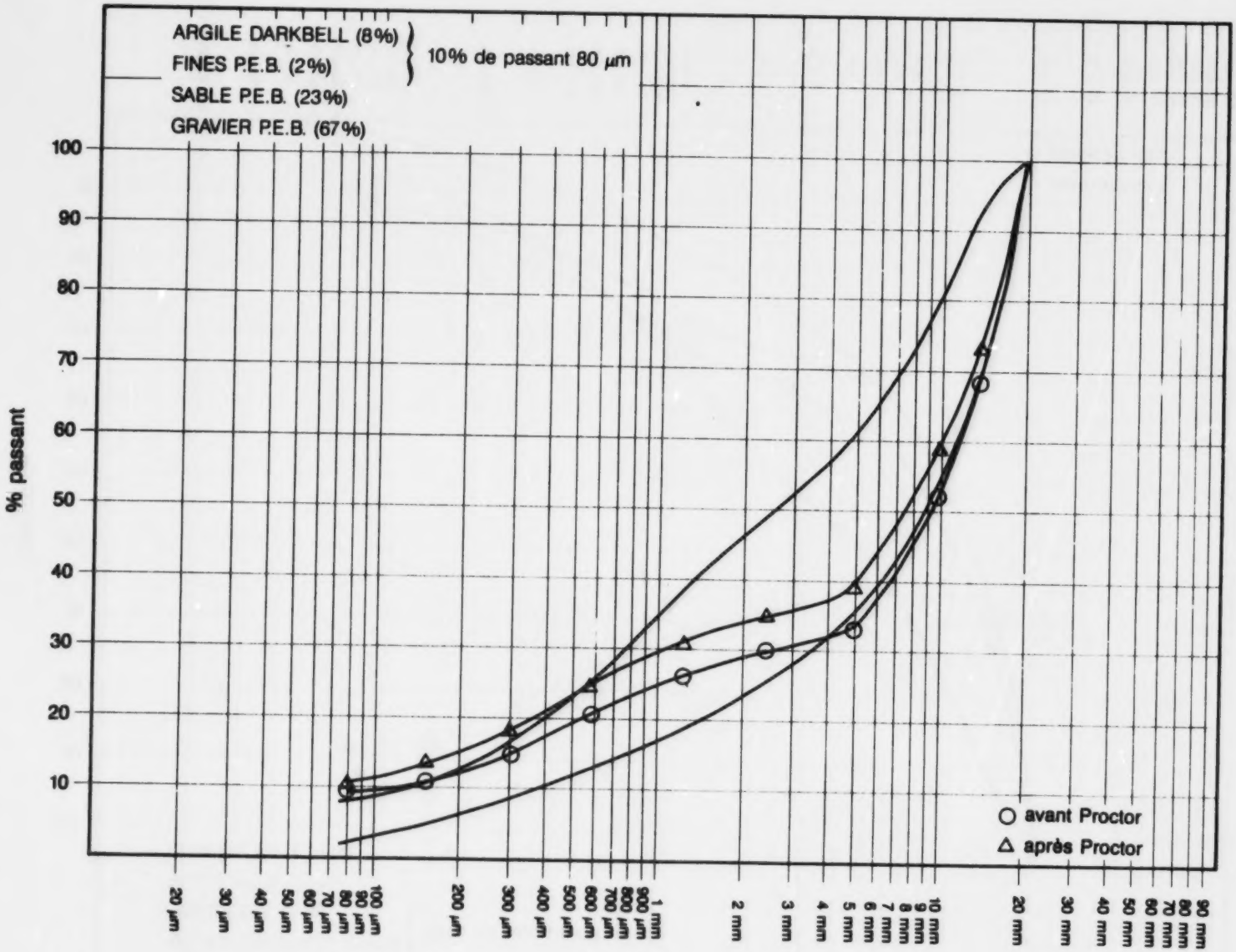
ARGILE DARKBELL (8%)
FINES P.E.B. (2%)
SABLE P.E.B. (23%)
GRAVIER P.E.B. (67%)
10% de passant 80 µm
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
60 µm
70 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm

Figure 11

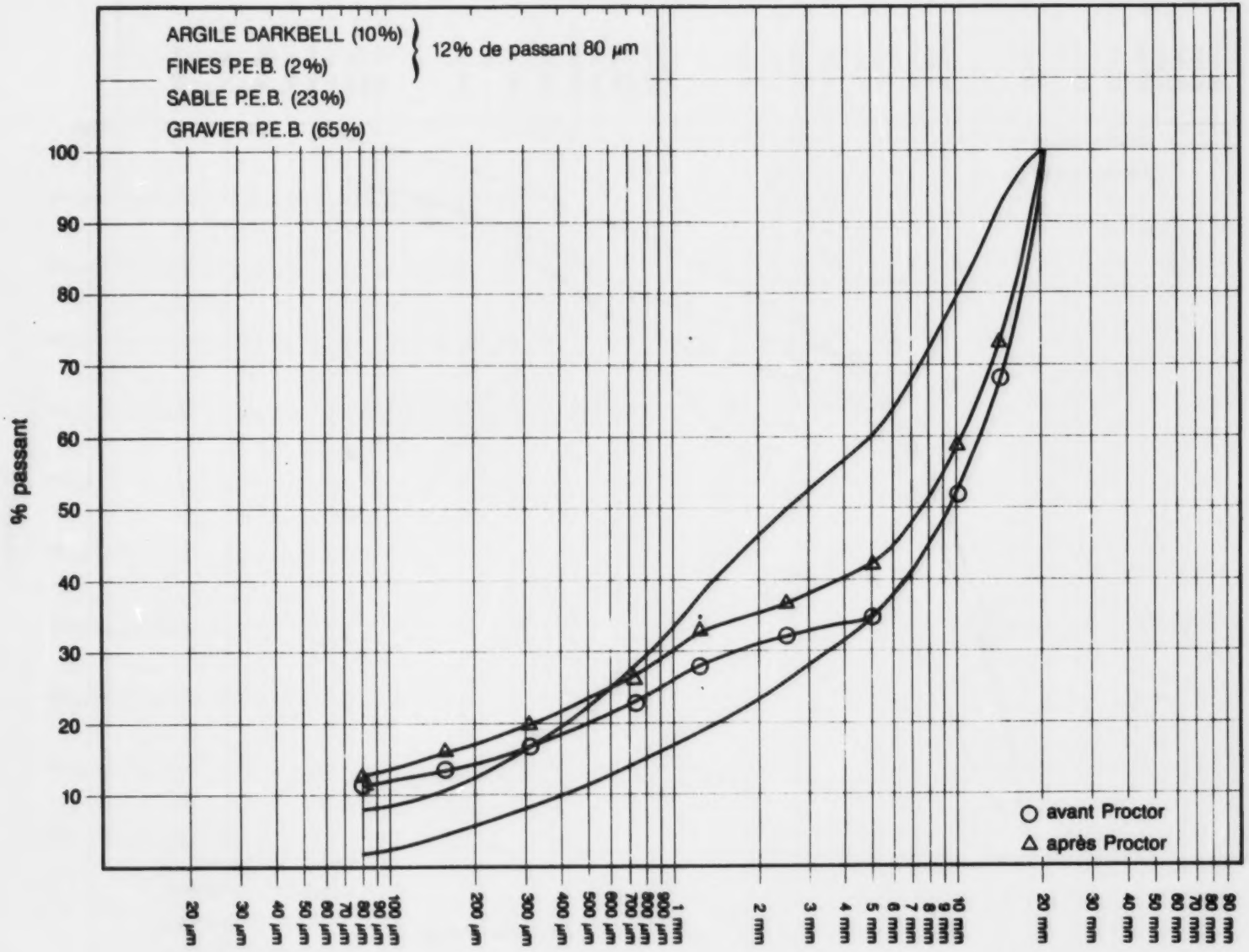
ARGILE DARKBELL (10%)
FINES P.E.B. (2%)
SABLE P.E.B. (23%)
GRAVIER P.E.B. (65%)
12% de passant 80 µm
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor

Figure 12

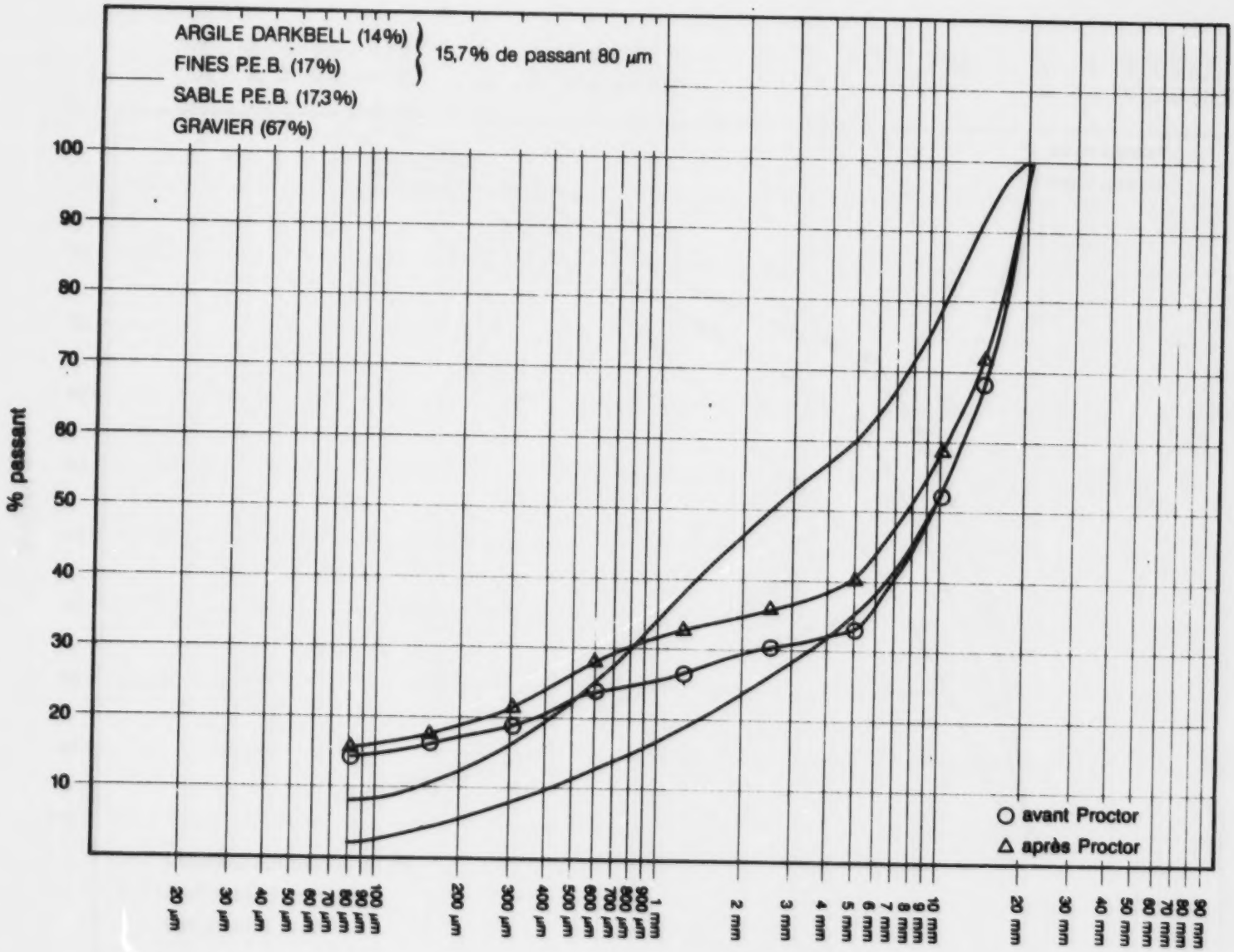
ARGILE DARKBELL (14%)
FINES P.E.B. (17%)
SABLE P.E.B. (17,3%)
GRAVIER (67%)
15,7% de passant 80 µm
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
45 µm
55 µm
63 µm
72 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
45 mm
56 mm
63 mm
72 mm
80 mm
90 mm

Figure 13

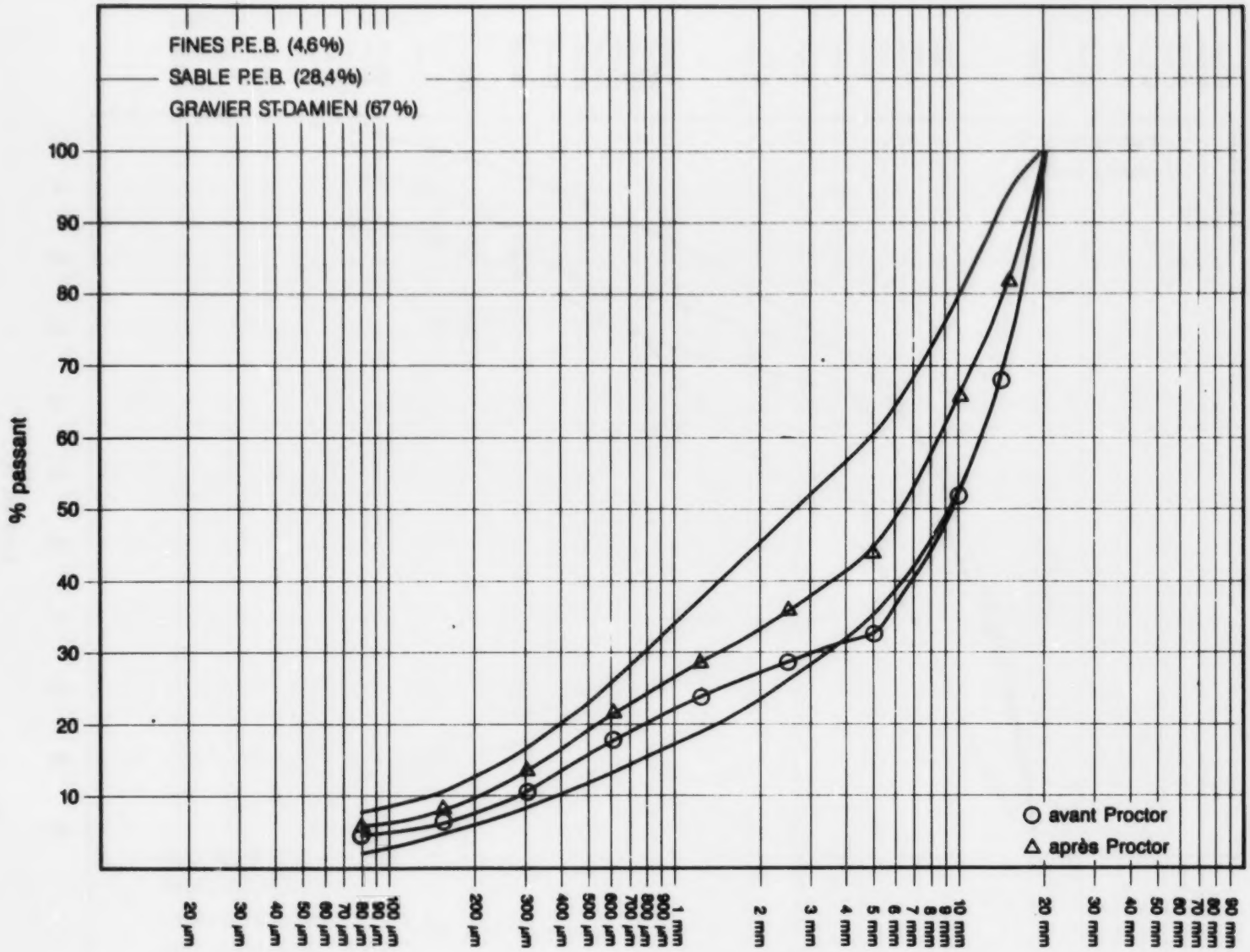
FINES P.E.B. (4,6%)
SABLE P.E.B. (28,4%)
GRAVIER ST-DAMIEN (67%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
avant Proctor
après Proctor
20 µm
30 µm
45 µm
55 µm
80 µm
2 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
45 mm
55 mm
80 mm
90 mm

Figure 14

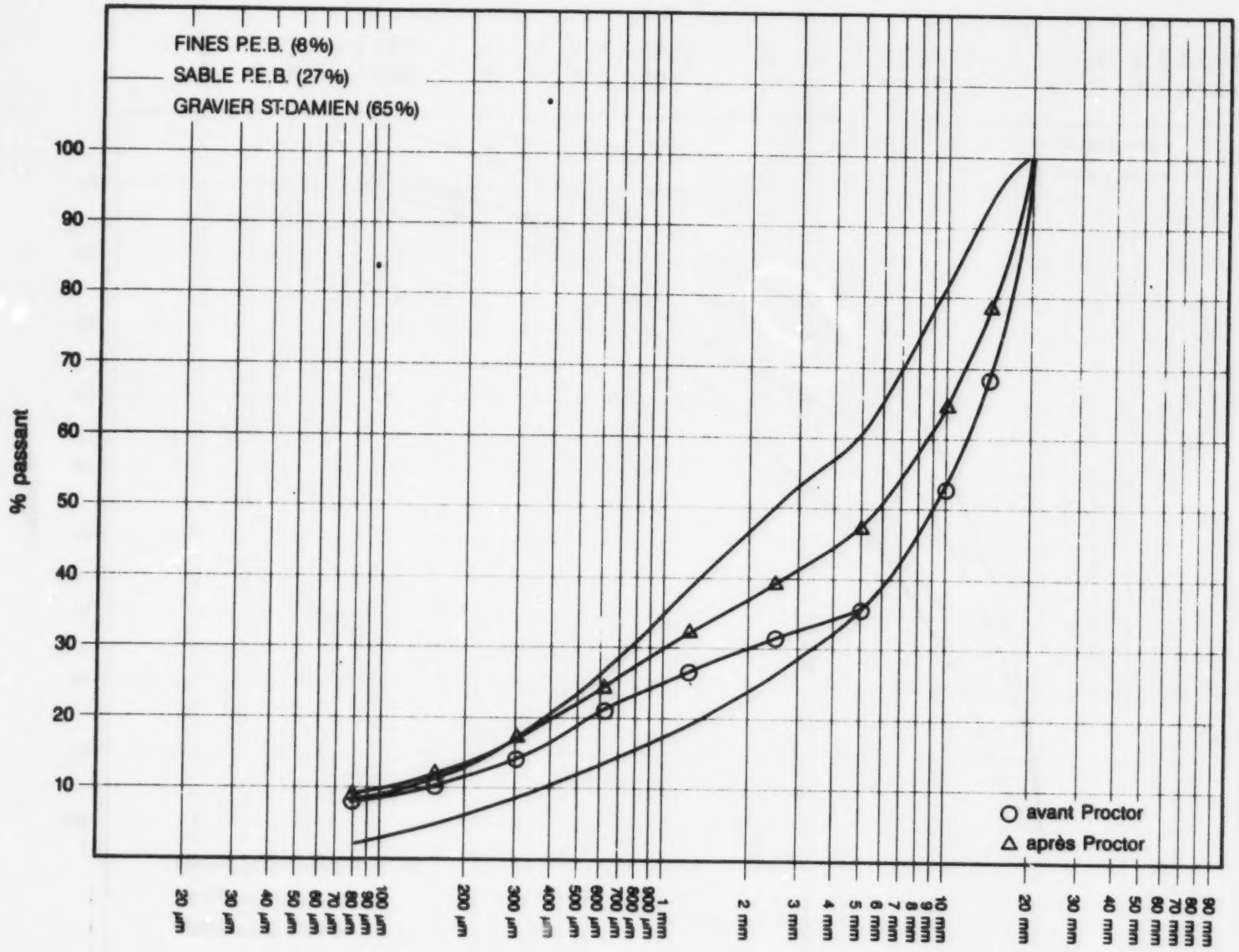
FINES P.E.B. (8%)
SABLE P.E.B. (27%)
GRAVIER ST-DAMIEN (65%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
55 µm
80 µm
75 µm
80 µm
80 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm

Figure 15

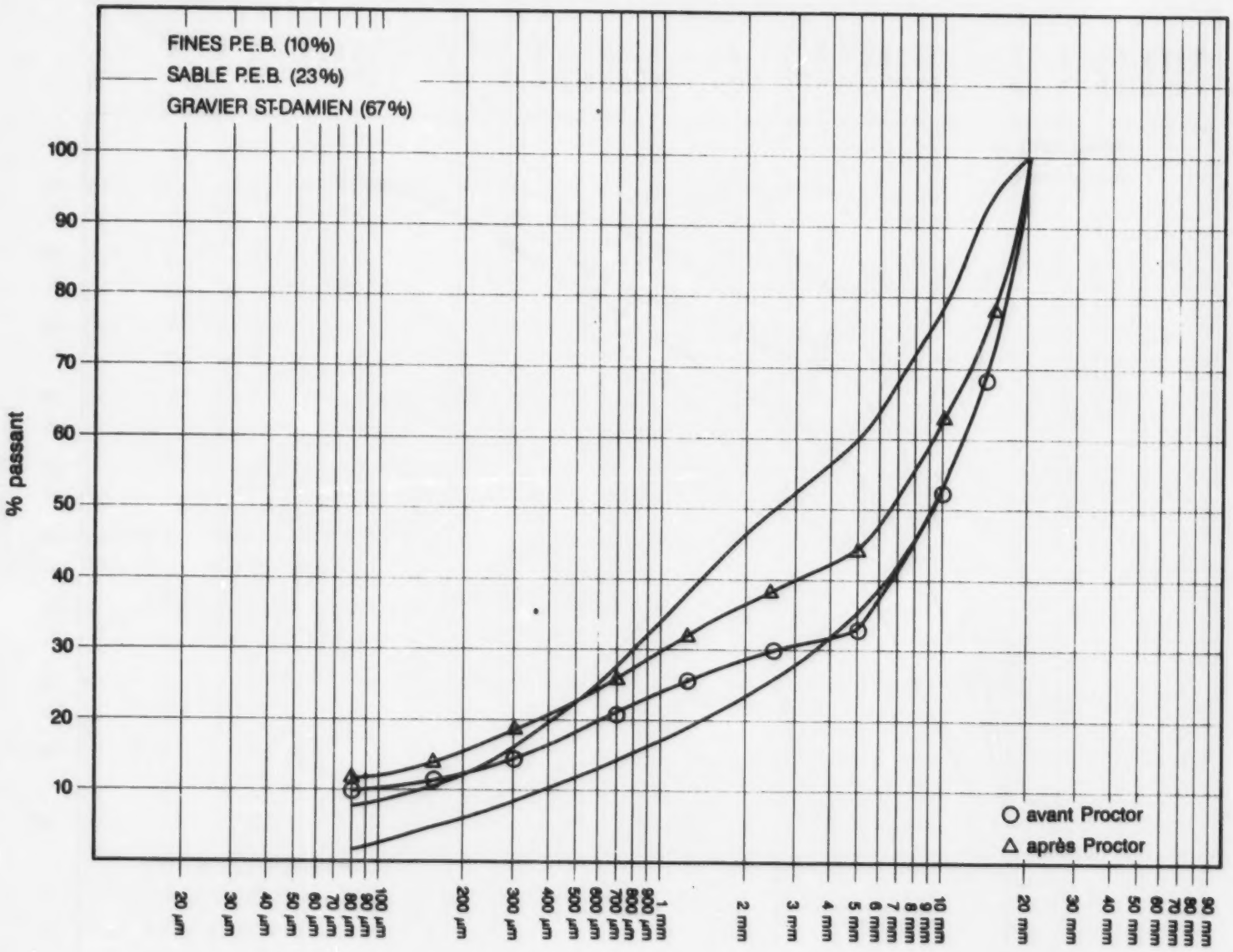
FINES P.E.B. (10%)
SABLE P.E.B. (23%)
GRAVIER ST-DAMIEN (67%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
O avant Proctor
Δ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
60 µm
70 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm

Figure 16

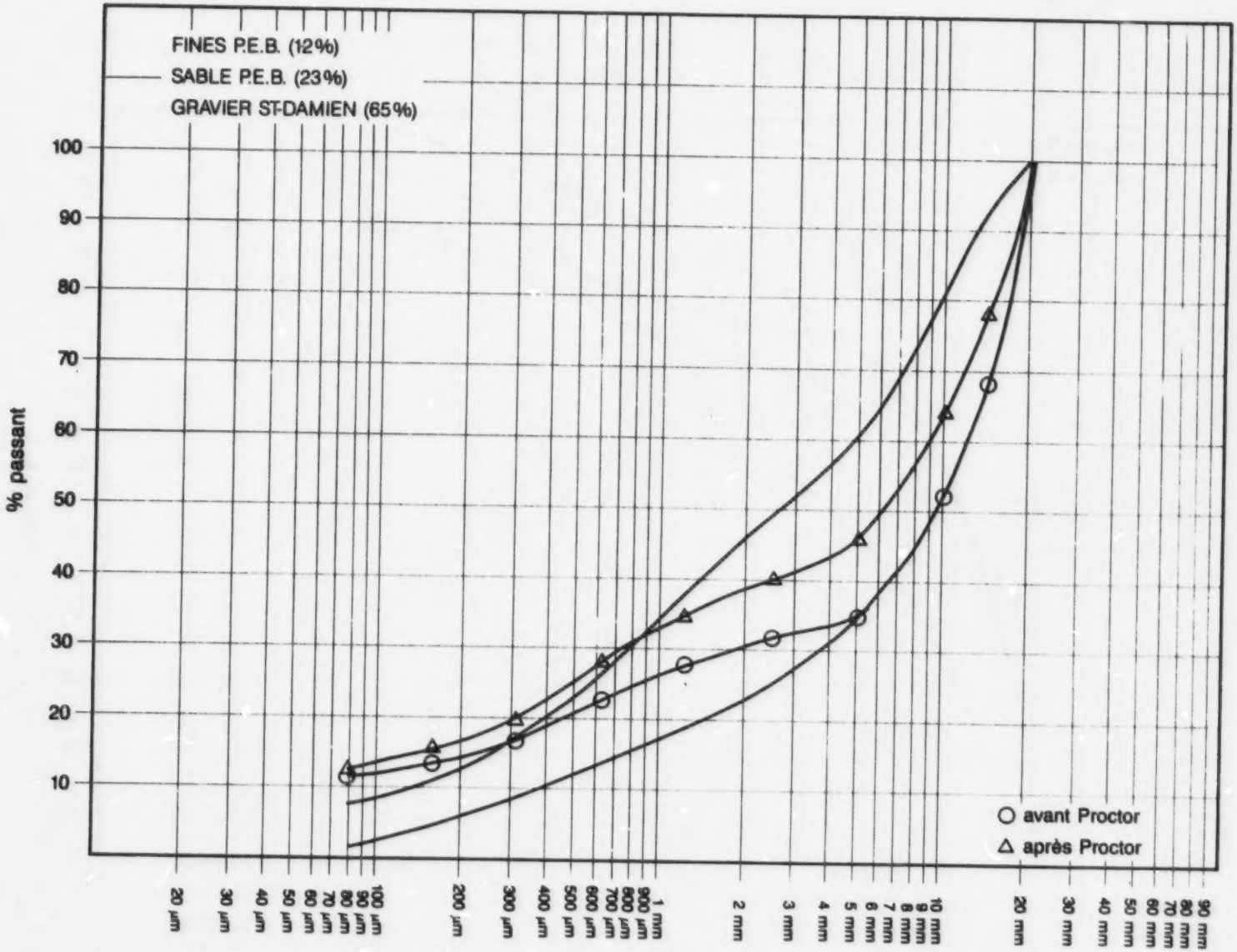
FINES P.E.B. (12%)
SABLE P.E.B. (23%)
GRAVIER ST-DAMIEN (65%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
60 µm
70 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm

Figure 17

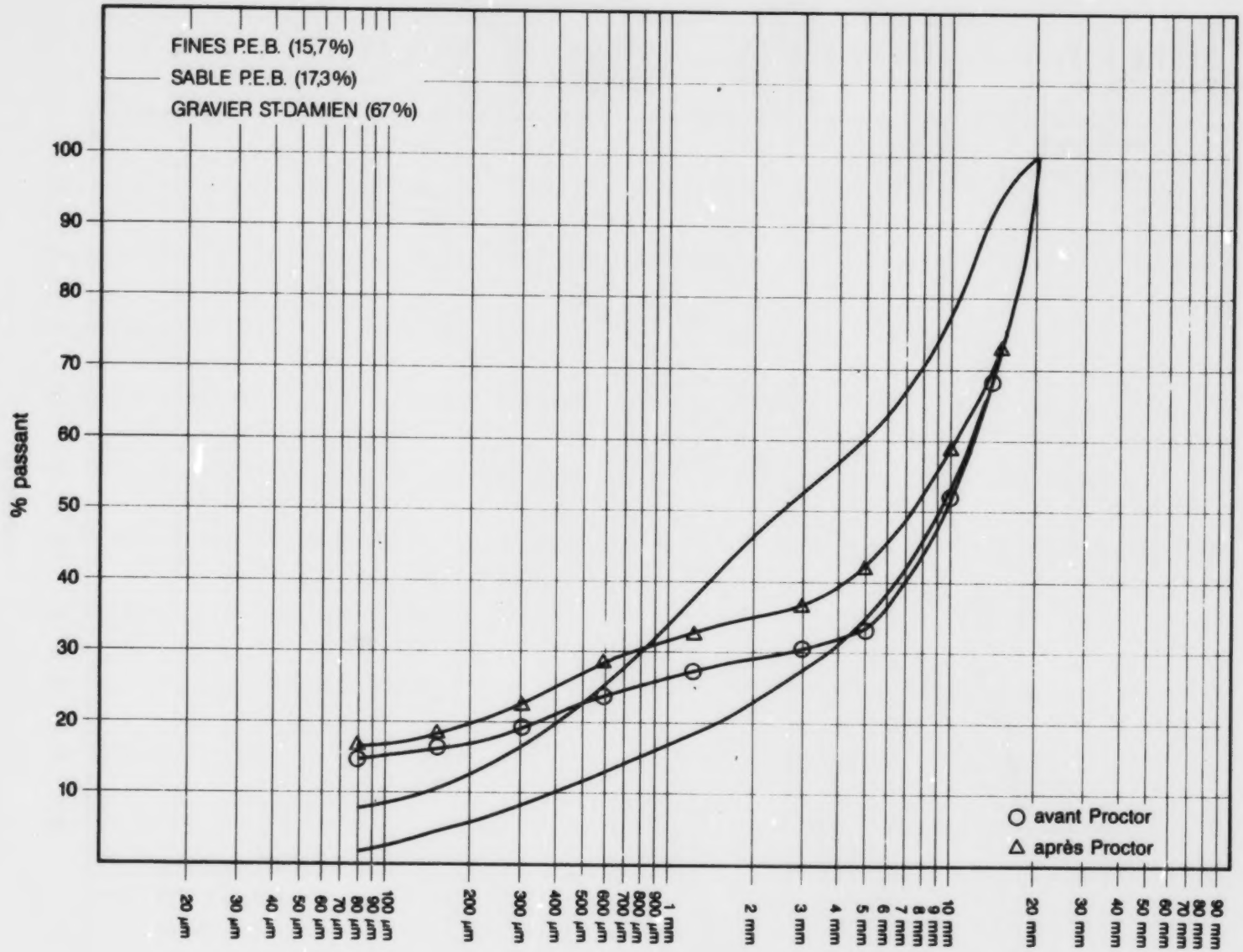
FINES P.E.B. (15,7%)
SABLE P.E.B. (17,3%)
GRAVIER ST-DAMIEN (67%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
60 µm
70 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm

Figure 18

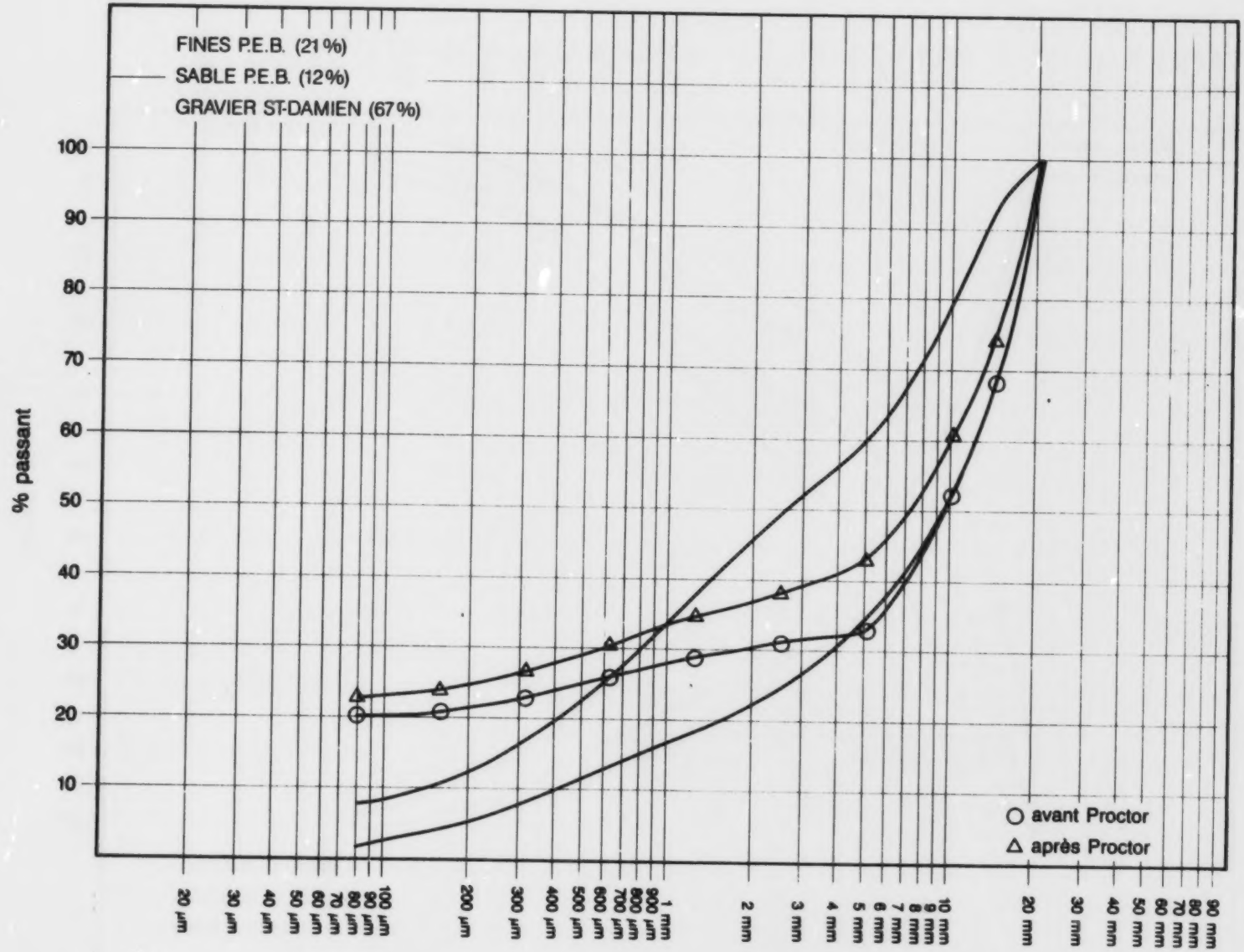
FINES P.E.B. (21%)
SABLE P.E.B. (12%)
GRAVIER ST-DAMIEN (67%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
45 µm
55 µm
80 µm
80 µm
80 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
45 mm
56 mm
80 mm
72 mm
80 mm
90 mm

Figure 19

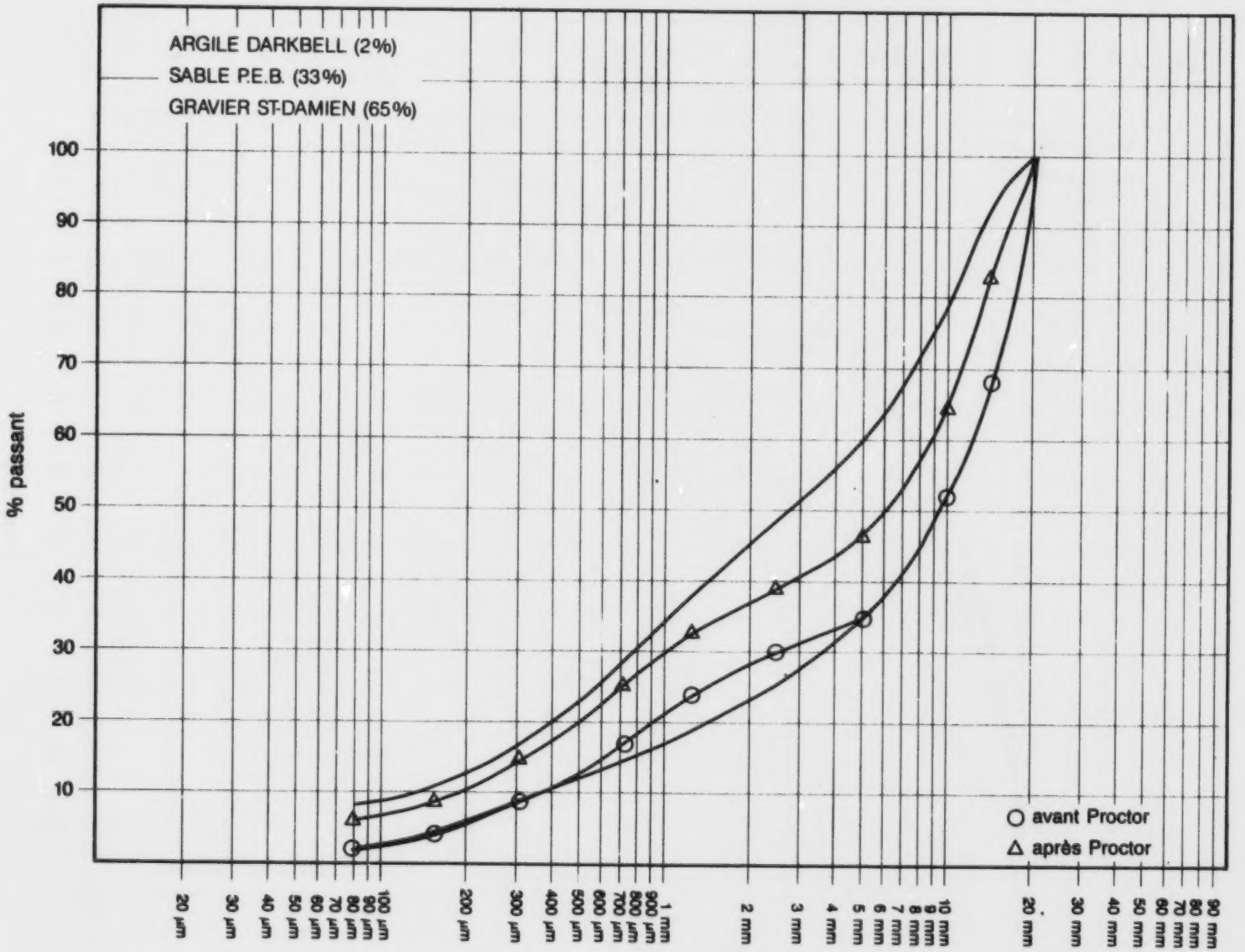
ARGILE DARKBELL (2%)
SABLE P.E.B. (33%)
GRAVIER ST-DAMIEN (65%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
O avant Proctor
Δ après Proctor
20 µm
30 µm
45 µm
50 µm
63 µm
75 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
75 mm
80 mm
90 mm

Figure 20

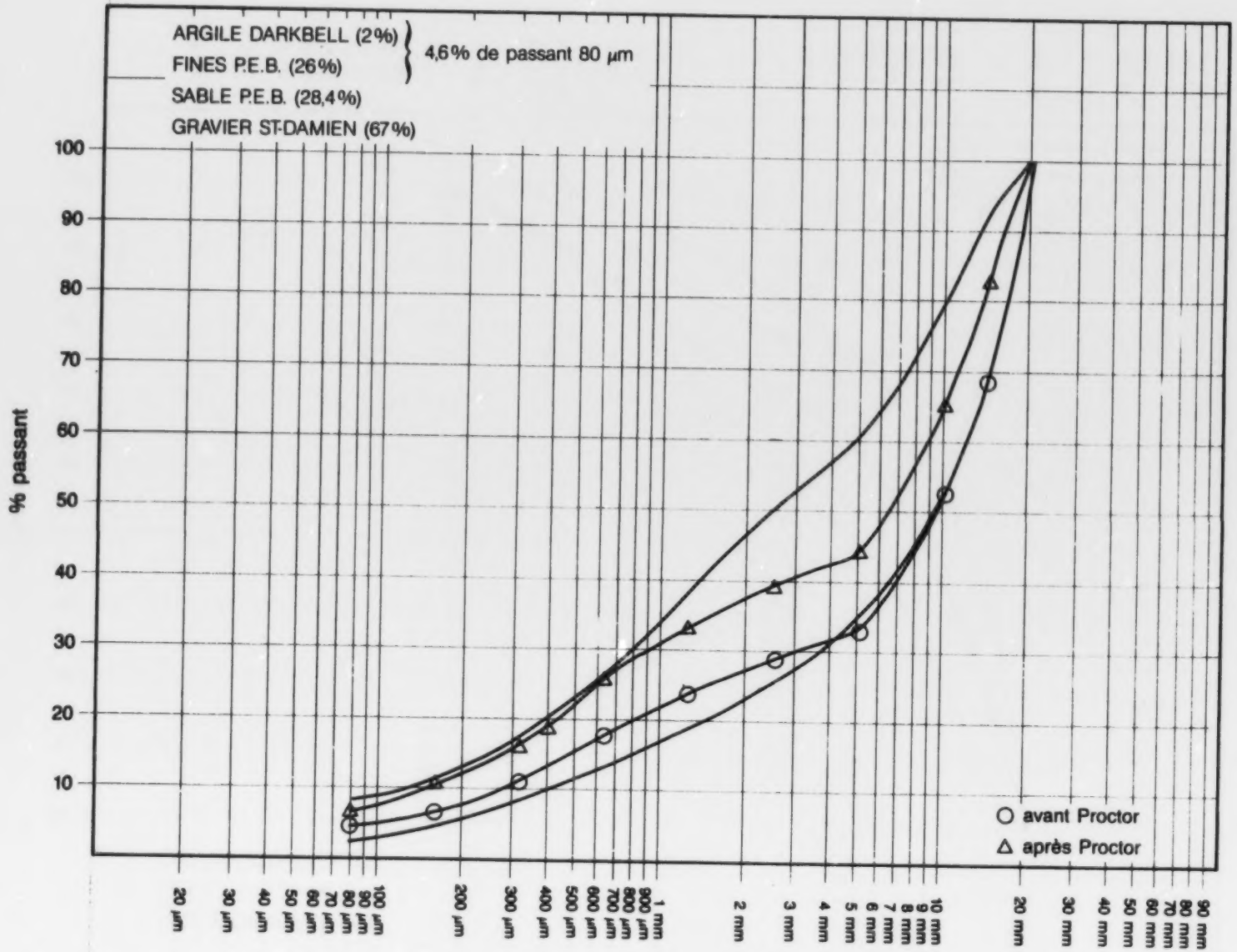
ARGILE DARKBELL (2%)
FINES P.E.B. (26%)
SABLE P.E.B. (28,4%)
GRAVIER ST-DAMIEN (67%)
4,6% de passant 80 µm
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
20 µm
30 µm
45 µm
50 µm
63 µm
RS µm
80 µm
80 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
45 mm
50 mm
63 mm
75 mm
80 mm
90 mm
○ avant Proctor
△ après Proctor

Figure 21

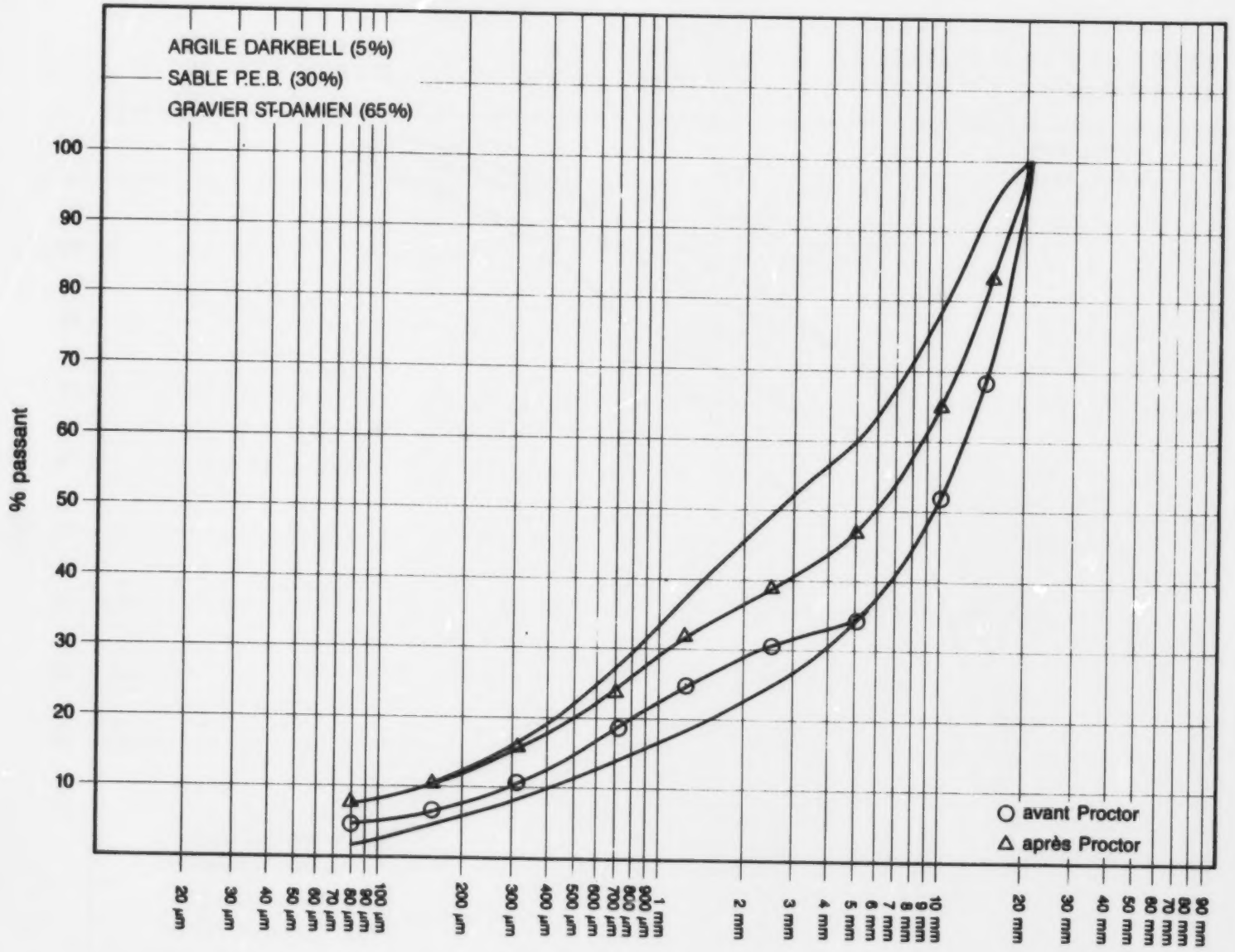
ARGILE DARKBELL (5%)
SABLE P.E.B. (30%)
GRAVIER ST-DAMIEN (65%)
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
60 µm
70 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm

Figure 22

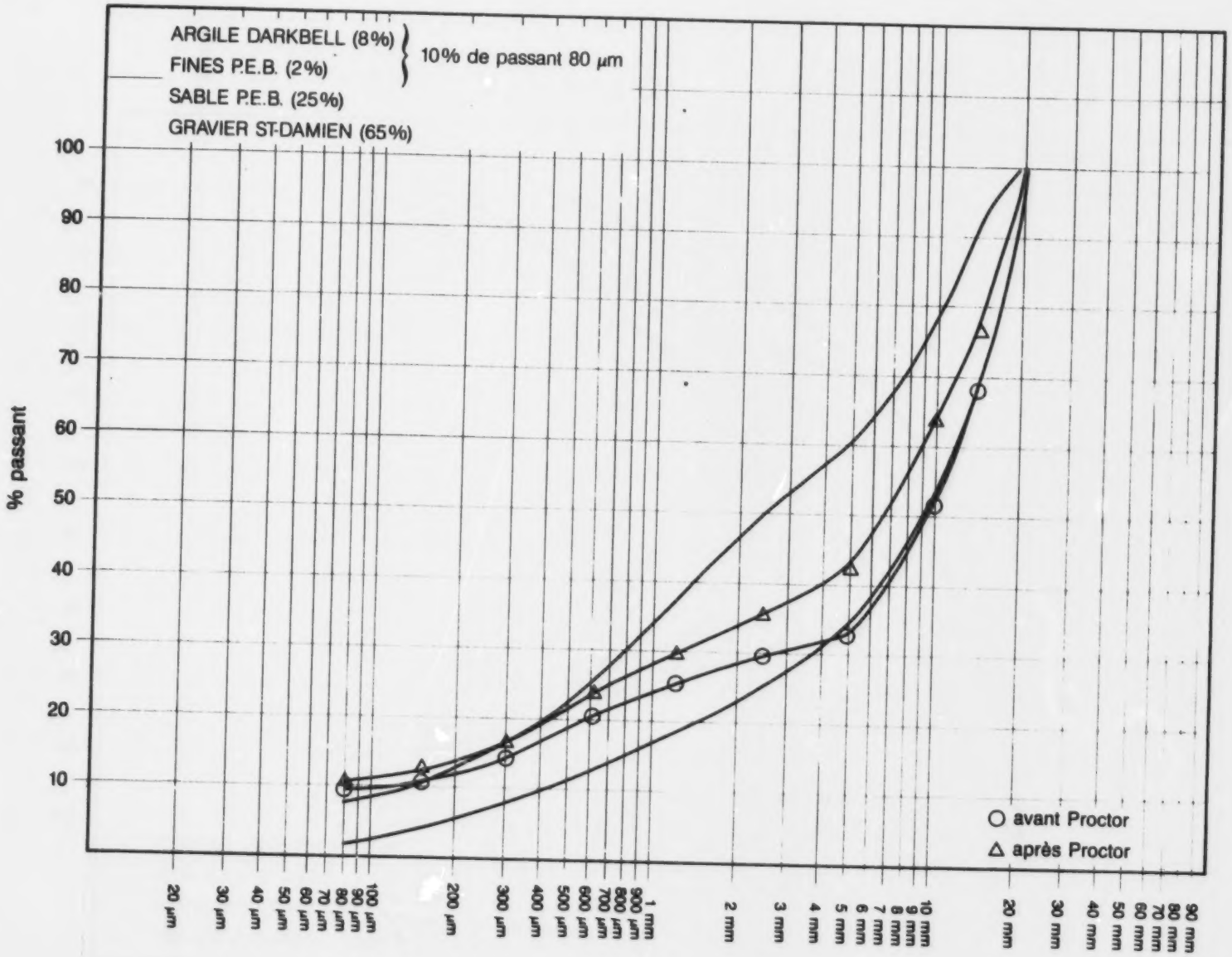
ARGILE DARKBELL (8%)
FINES P.E.B. (2%)
SABLE P.E.B. (25%)
GRAVIER ST-DAMIEN (65%)
10% de passant 80 µm
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
60 µm
70 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm
○ avant Proctor
△ après Proctor

Figure 23

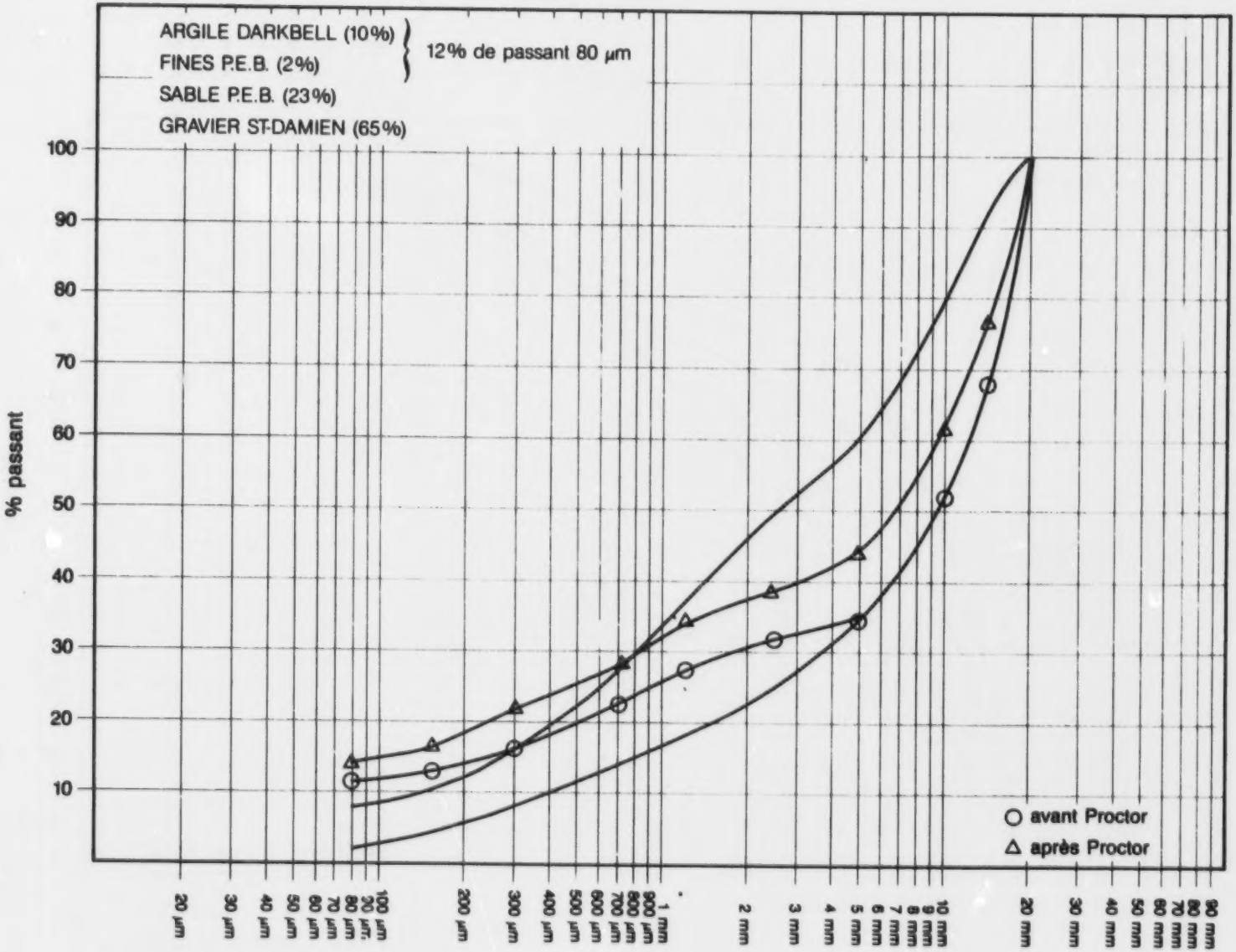
ARGILE DARKBELL (10%)
FINES P.E.B. (2%)
SABLE P.E.B. (23%)
GRAVIER ST-DAMIEN (65%)
12% de passant 80 µm
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
60 µm
70 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm

Figure 24

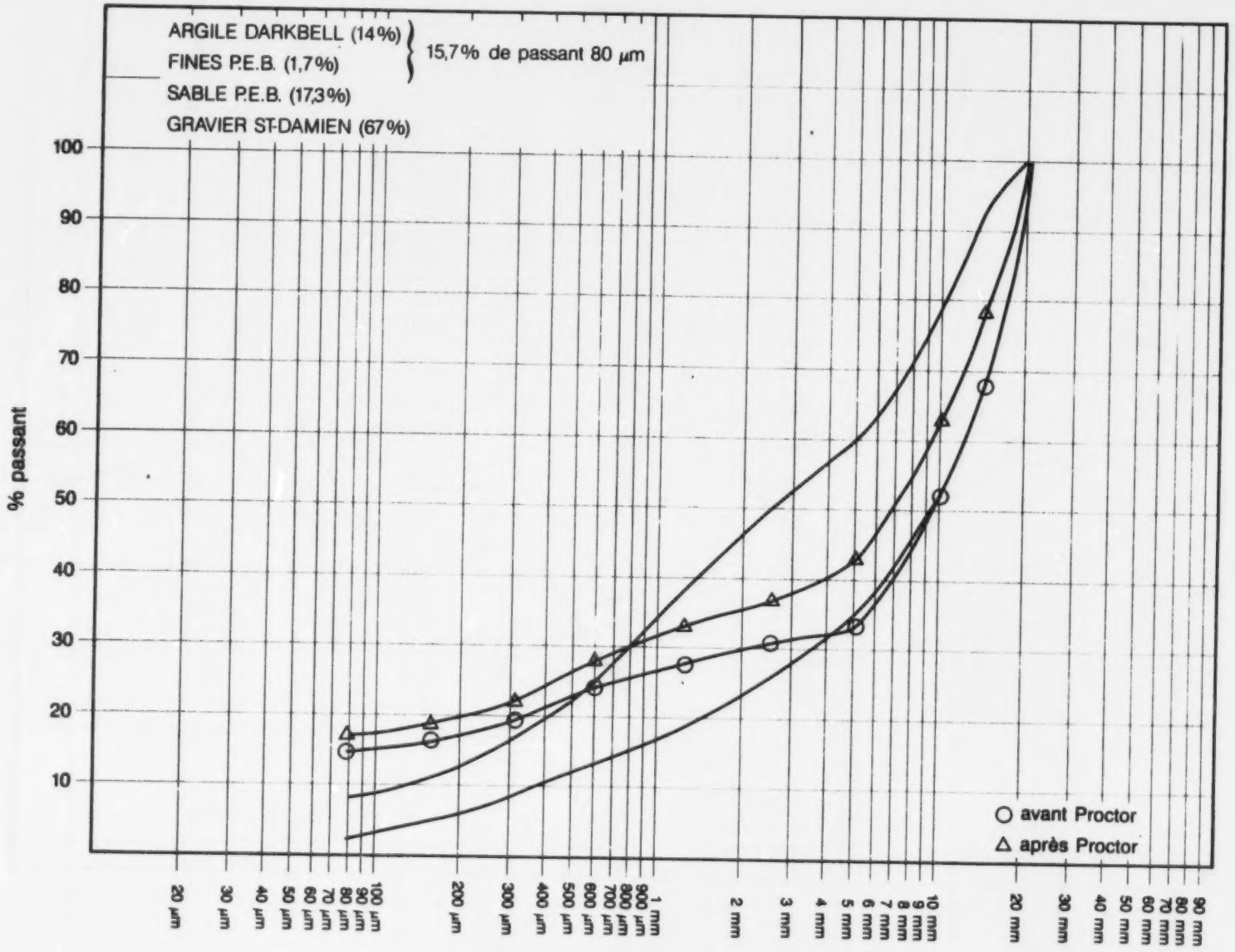
ARGILE DARKBELL (14%)
FINES P.E.B. (1,7%)
SABLE P.E.B. (17,3%)
GRAVIER ST-DAMIEN (67%)
15,7% de passant 80 µm
% passant
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
○ avant Proctor
△ après Proctor
20 µm
30 µm
40 µm
50 µm
60 µm
70 µm
80 µm
90 µm
100 µm
200 µm
300 µm
400 µm
500 µm
600 µm
700 µm
800 µm
900 µm
1 mm
2 mm
3 mm
4 mm
5 mm
6 mm
7 mm
8 mm
9 mm
10 mm
20 mm
30 mm
40 mm
50 mm
60 mm
70 mm
80 mm
90 mm

Figure 25

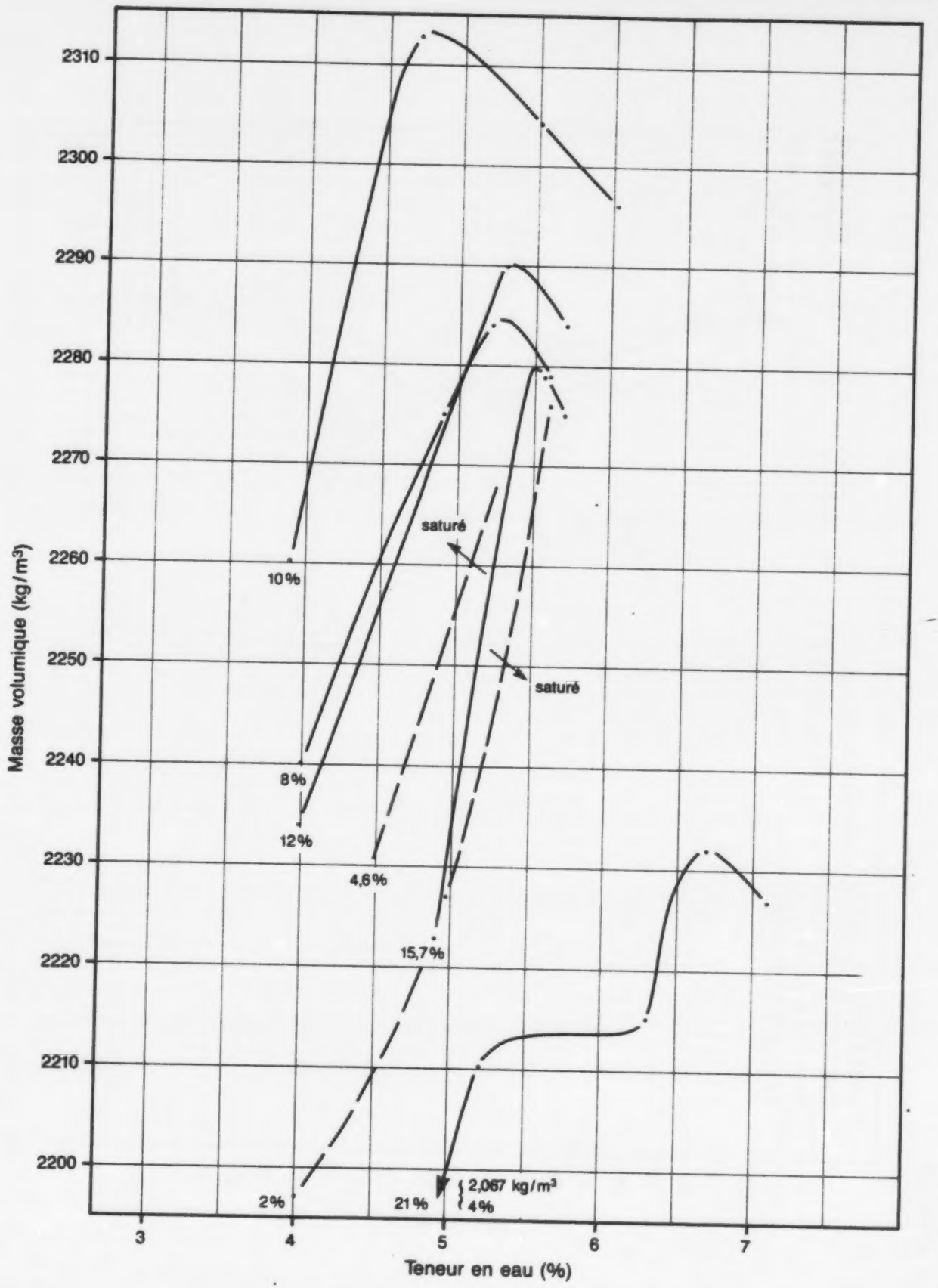

Figure 26 Courbes Proctor P.E.B. avec fines P.E.B.

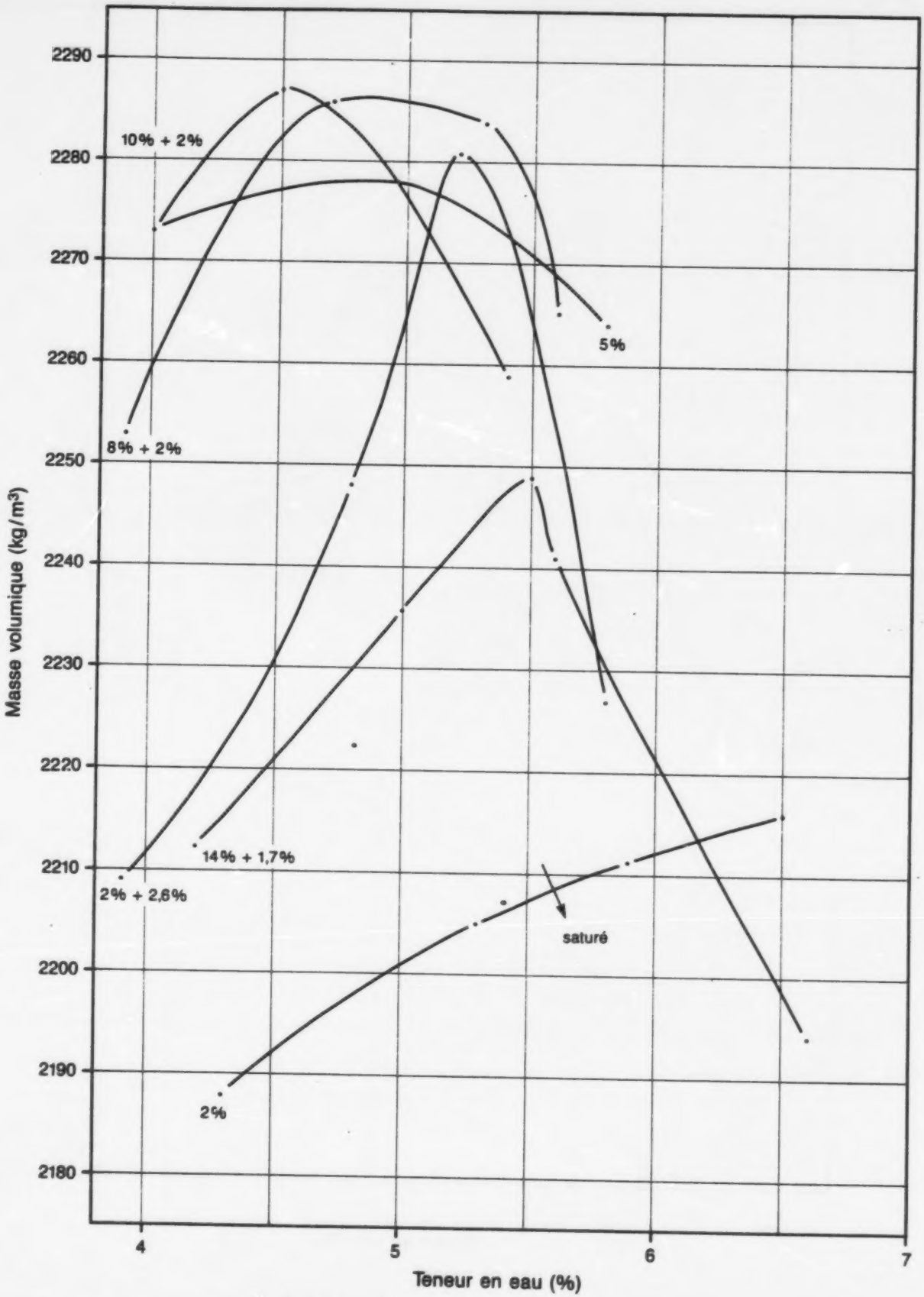

Figure 27 Courbes Proctor P.E.B. avec fines DARKBELL

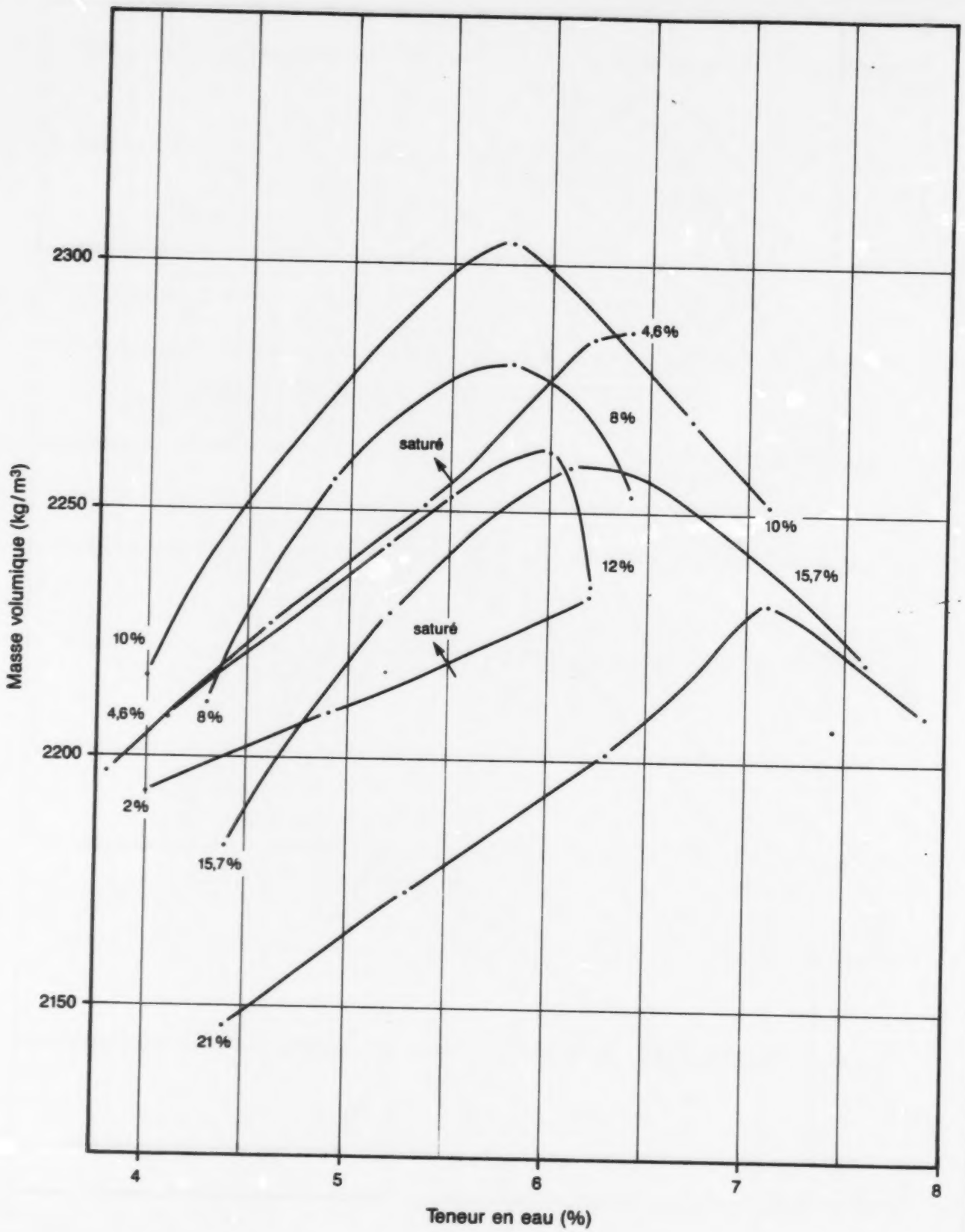

Figure 28 Courbes Proctor St-Damien avec fines P.E.B.

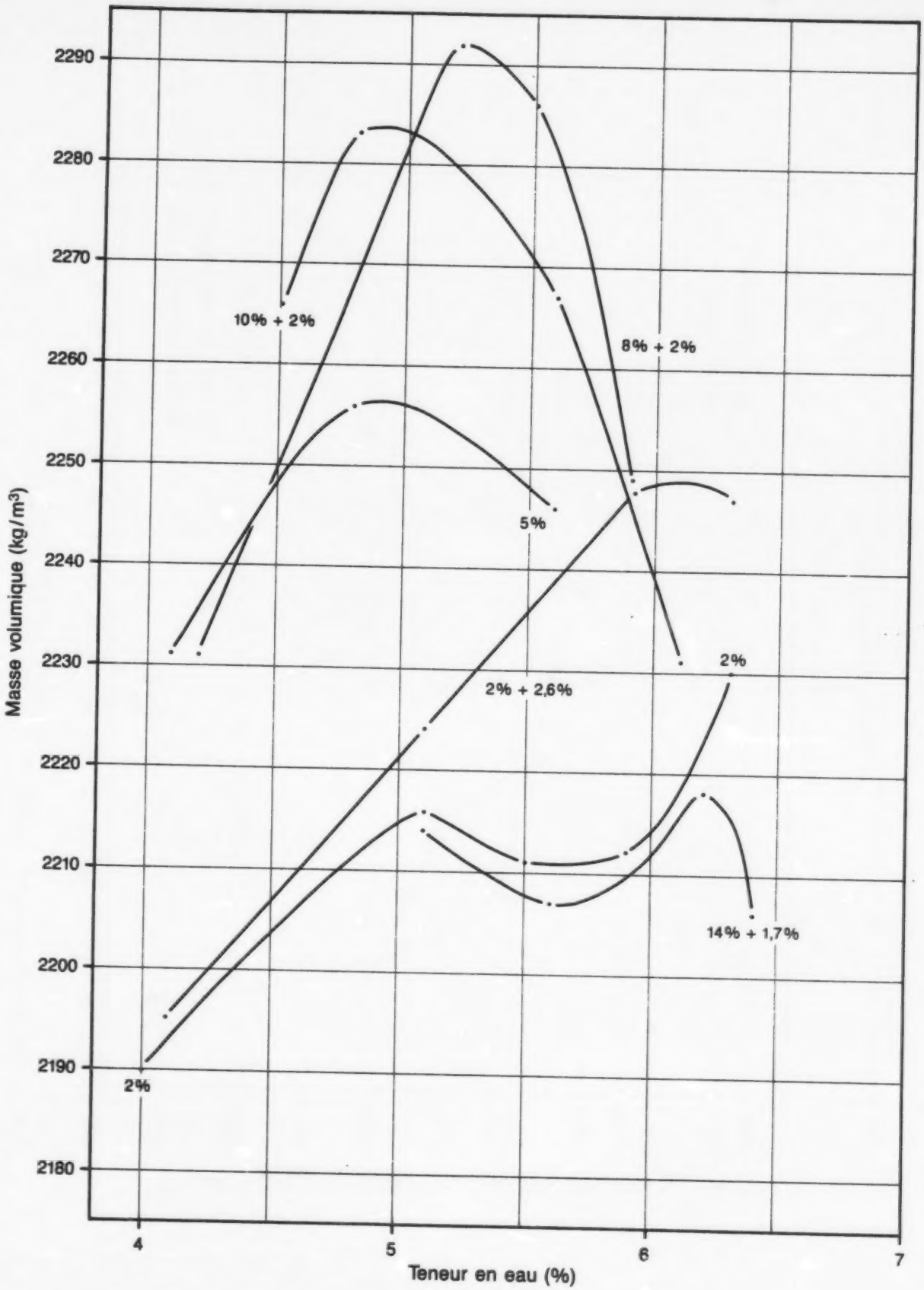

Figure 29 Courbes Proctor St-Damien avec fines DARKBELL

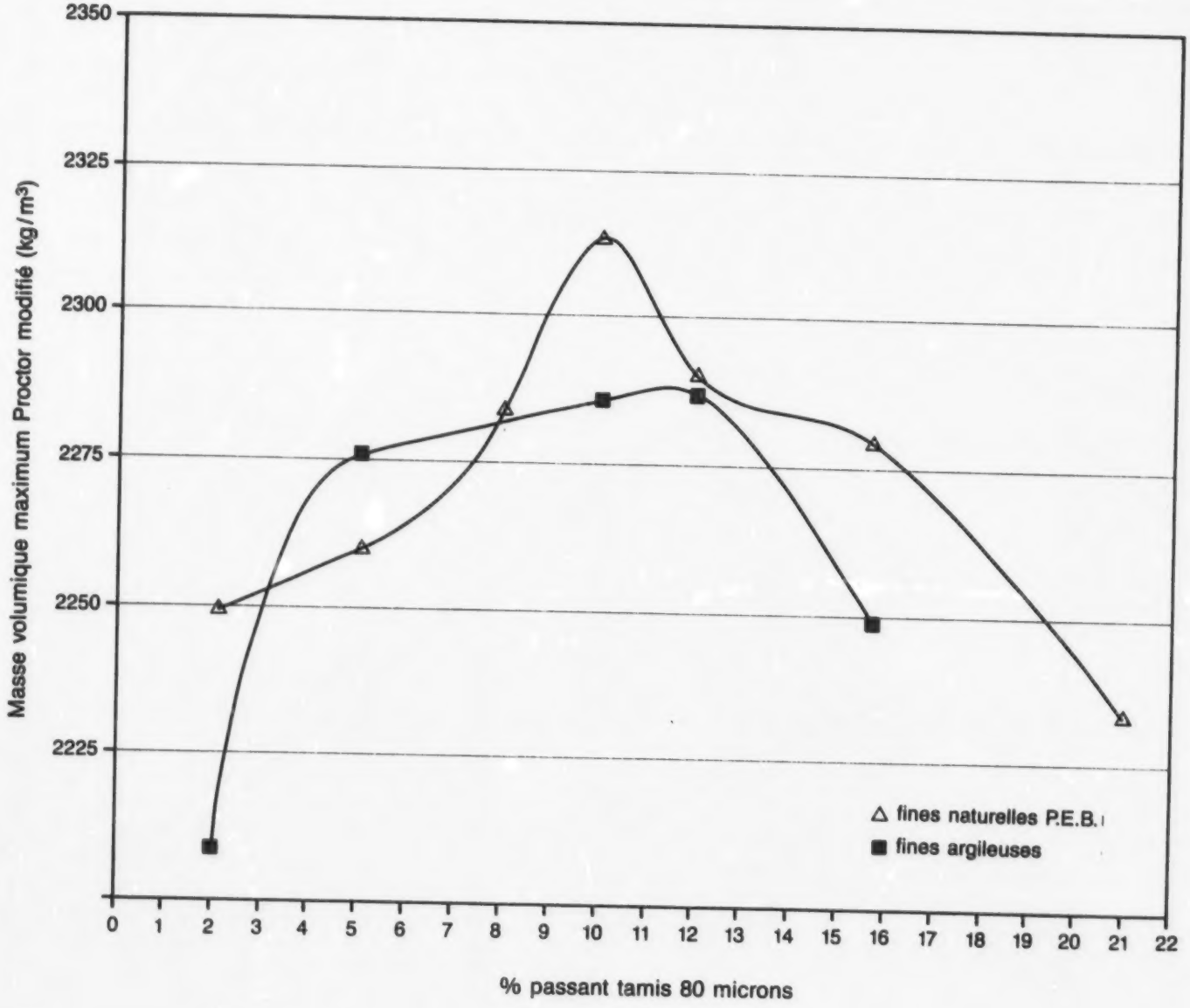

Figure 30 Gravier P.E.B.: % fines vs masse volumique maximum

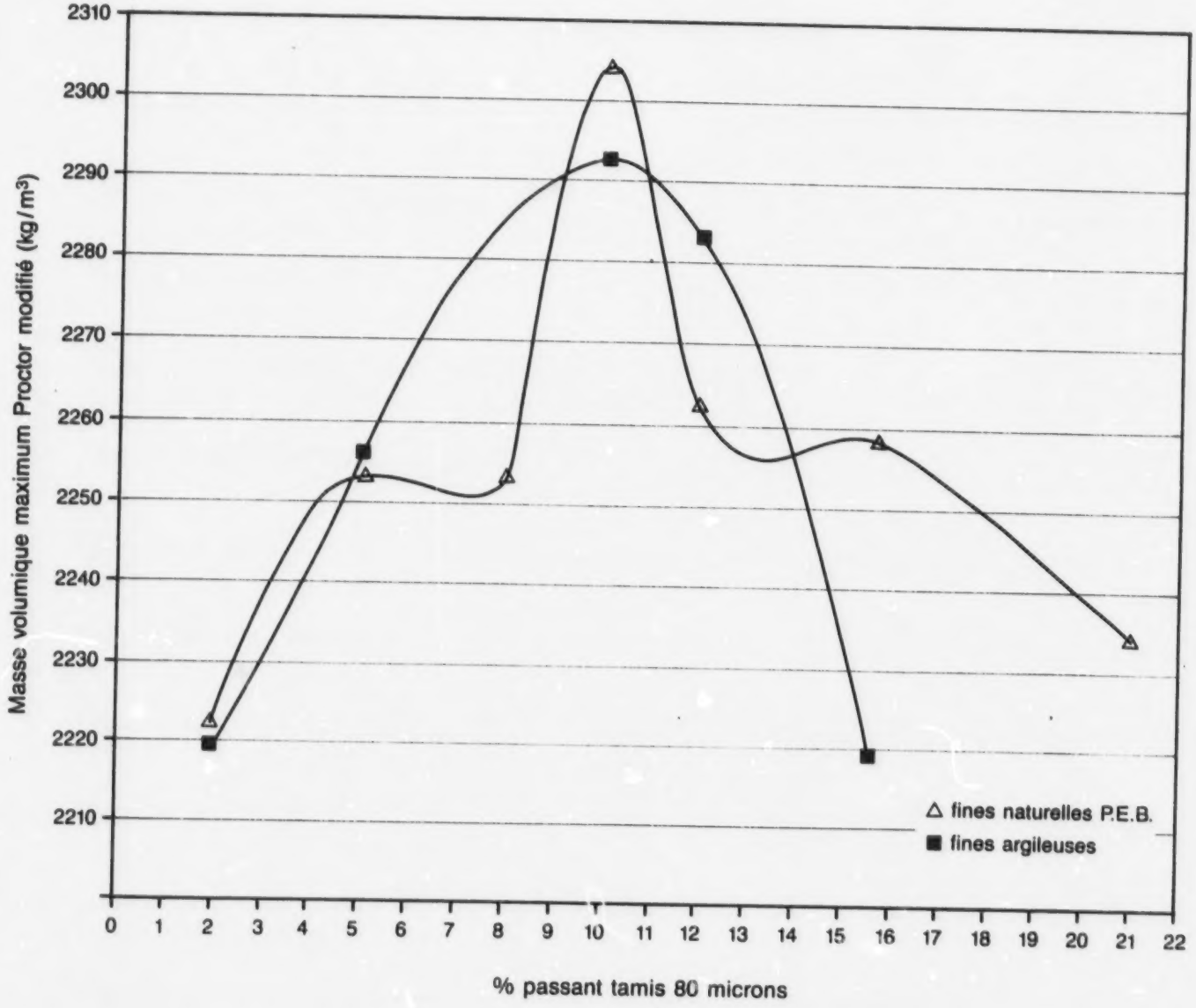

Figure 31 Gravier St-Damien: % fines vs masse volumique maximum

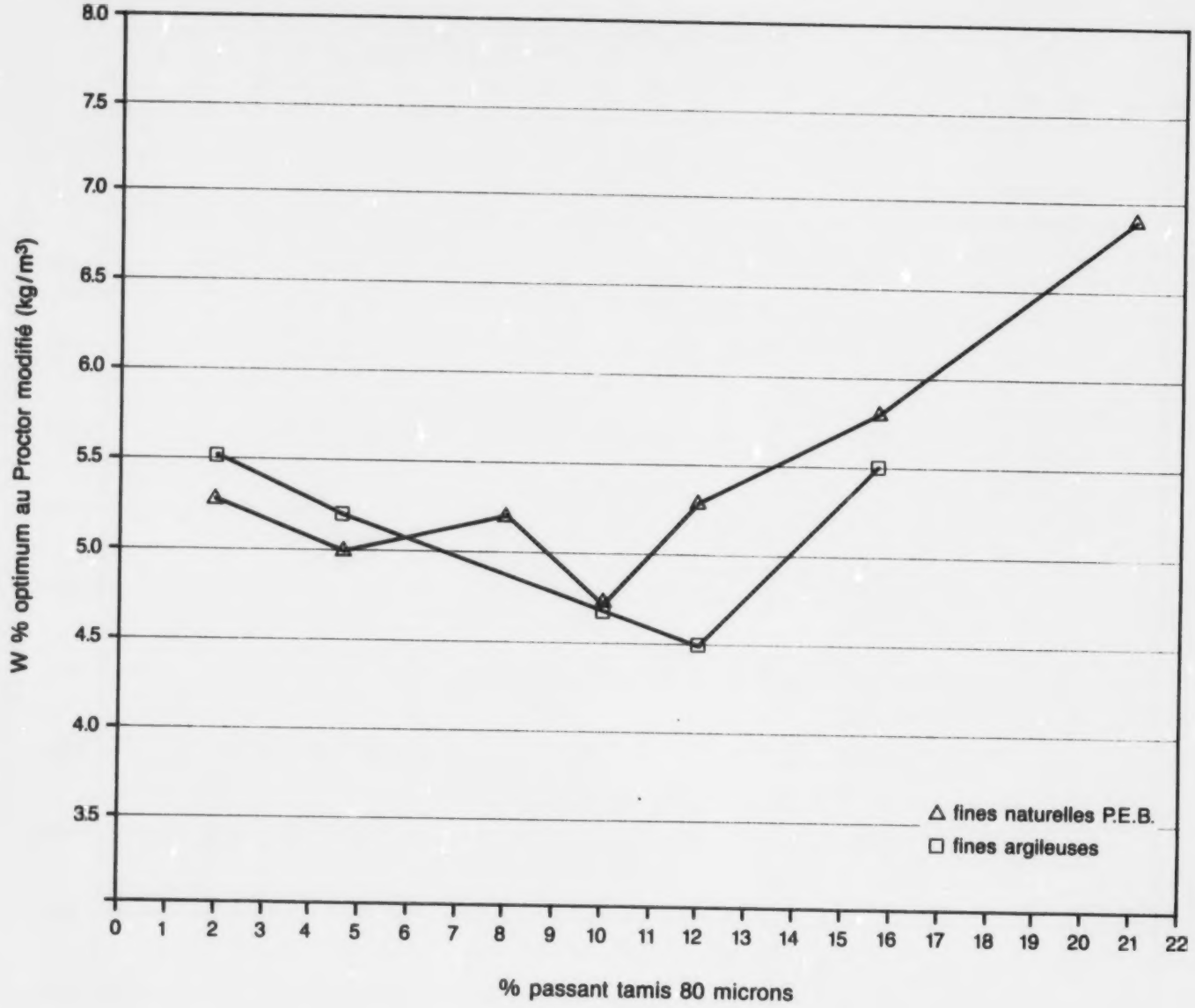

Figure 32 Gravier P.E.B.: % fines vs teneur en eau optimum

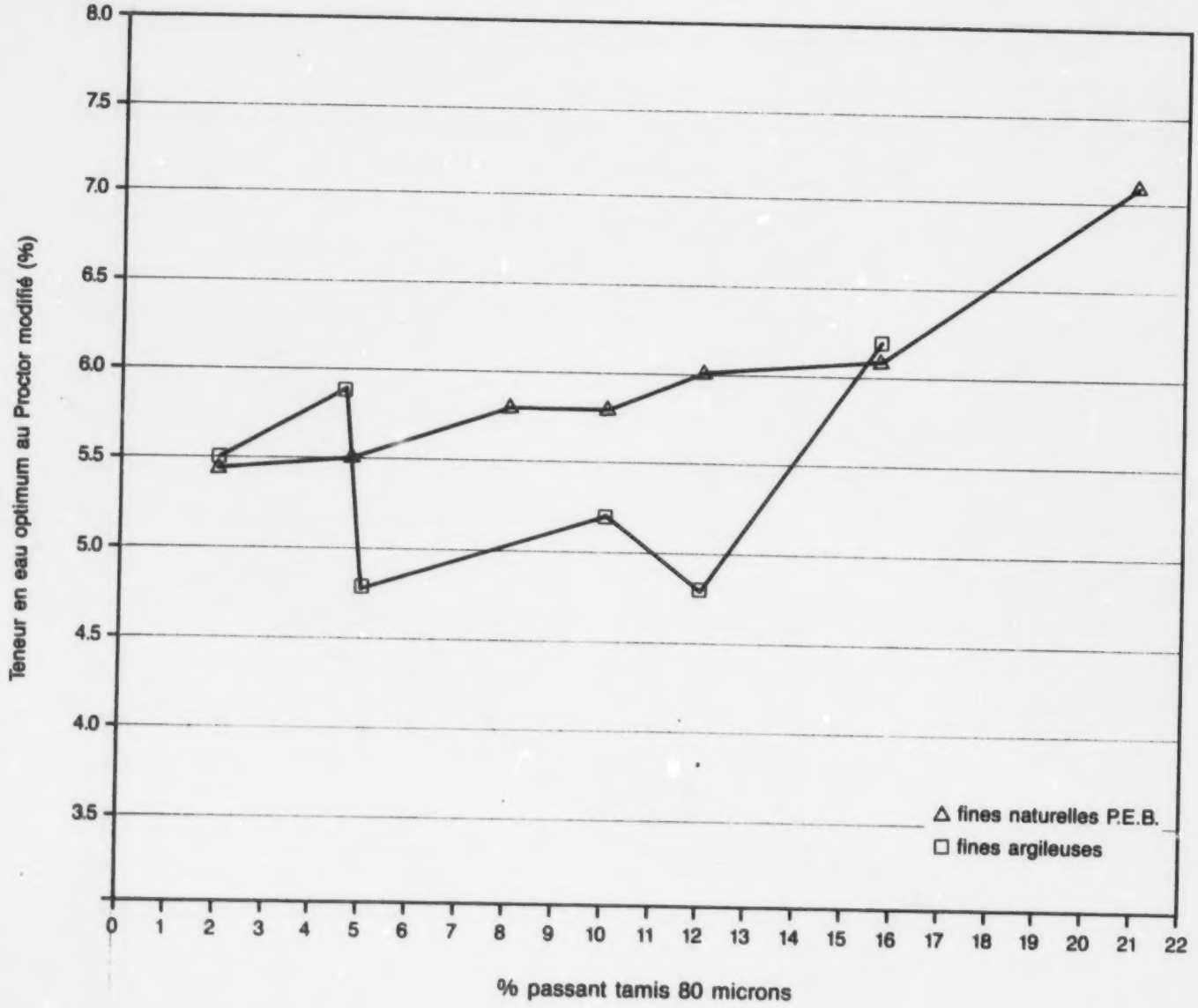

Figure 33 Gravier St-Damien: % fines vs teneur en eau optimum

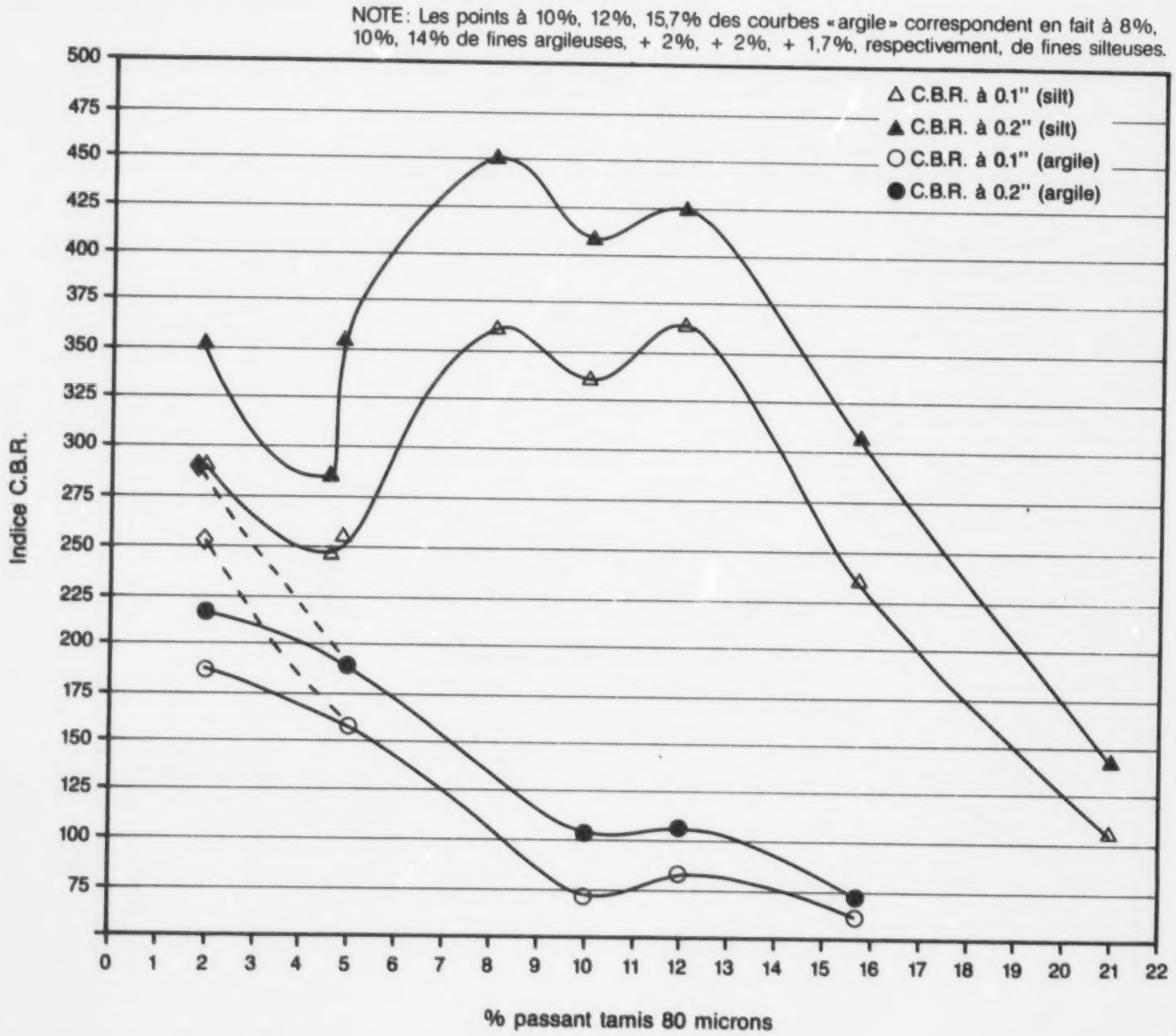

Figure 34 Matériau granitique (P.E.B.); pourcentage de particules fines vs indice C.B.R

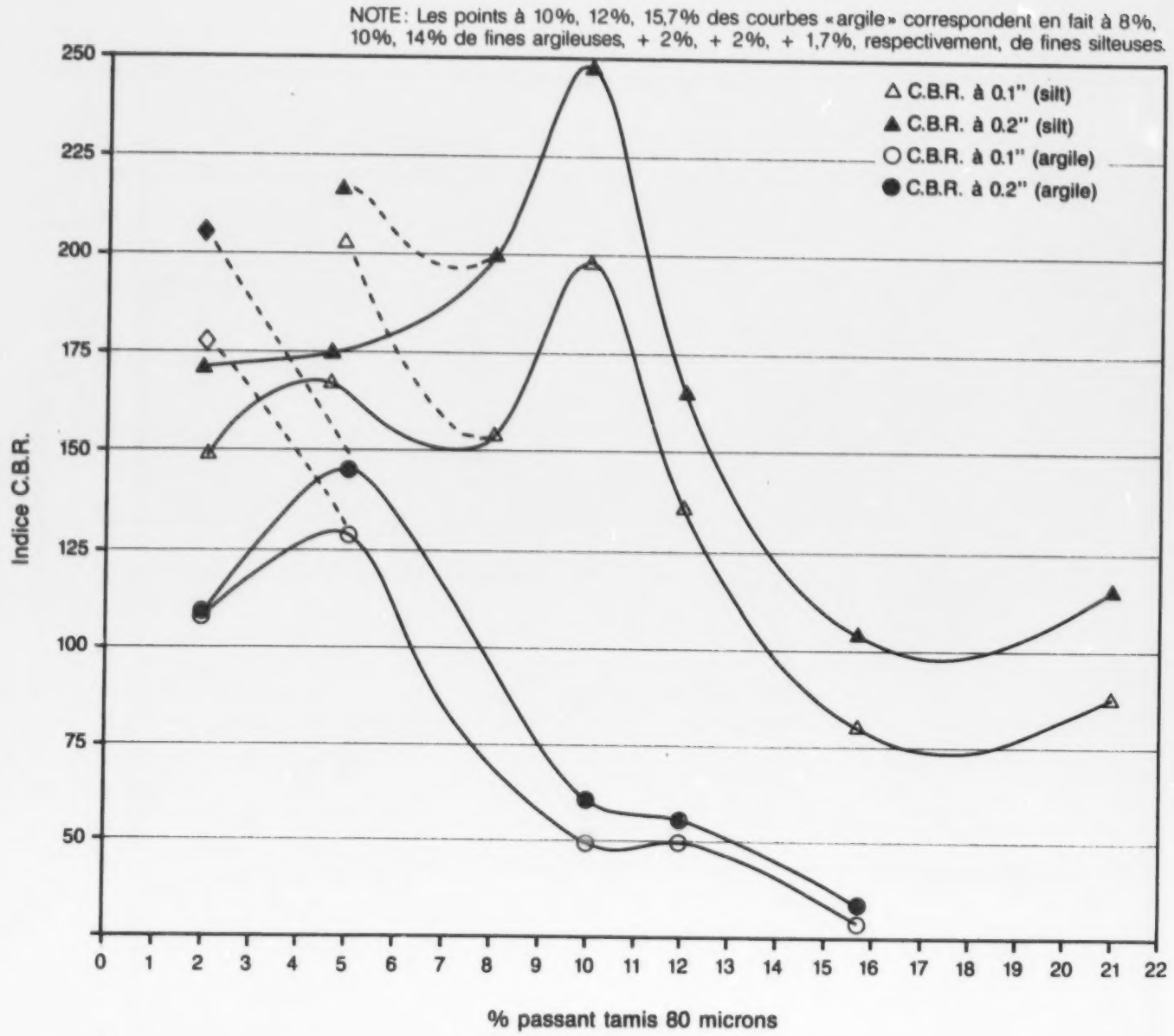

Figure 35 Matériau schisteux (St-Damien); pourcentage de particules fines vs indice C.B.R.

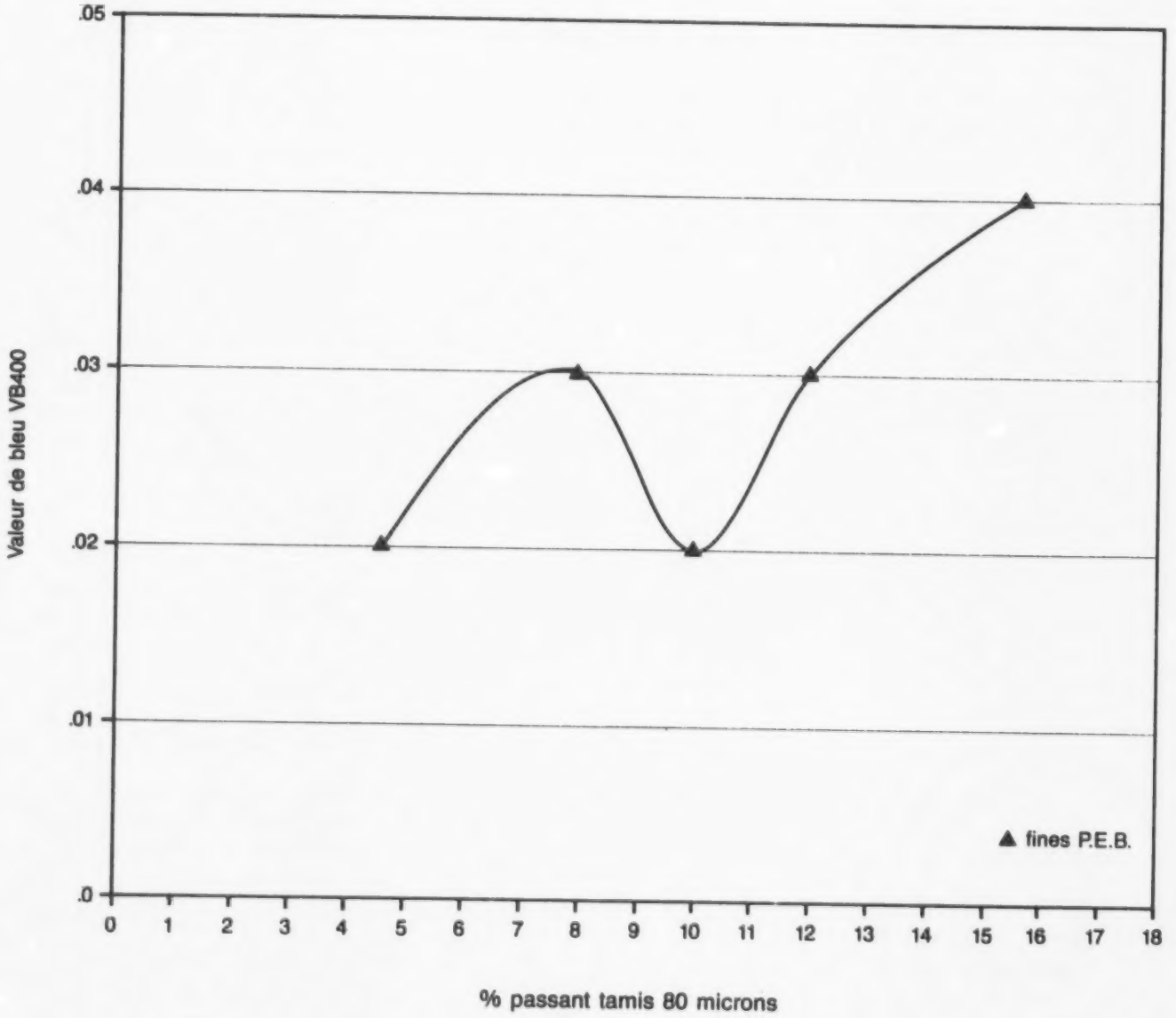

Figure 36 % fines vs valeur de bleu

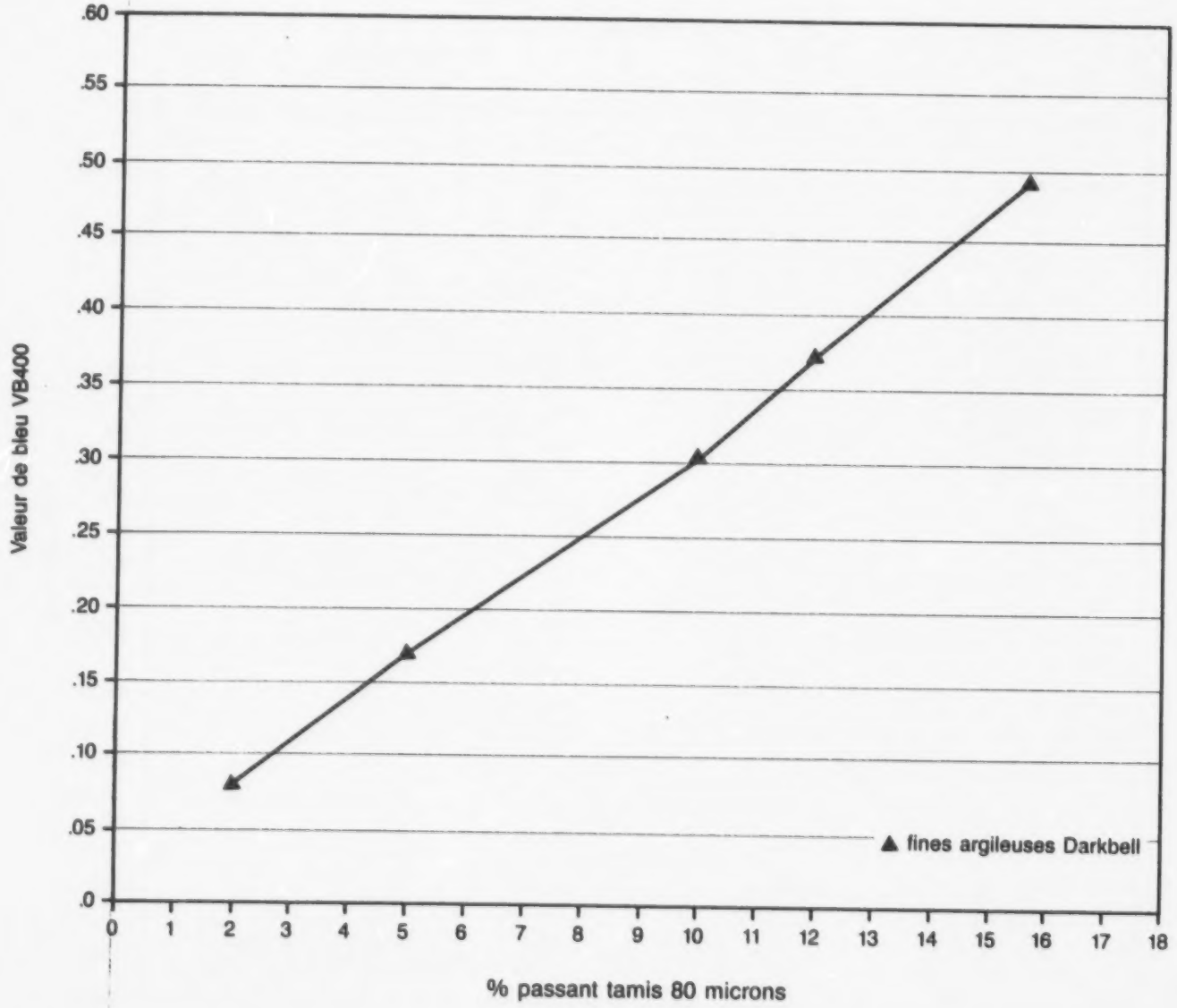

Figure 37 % fines vs valeur de bleu

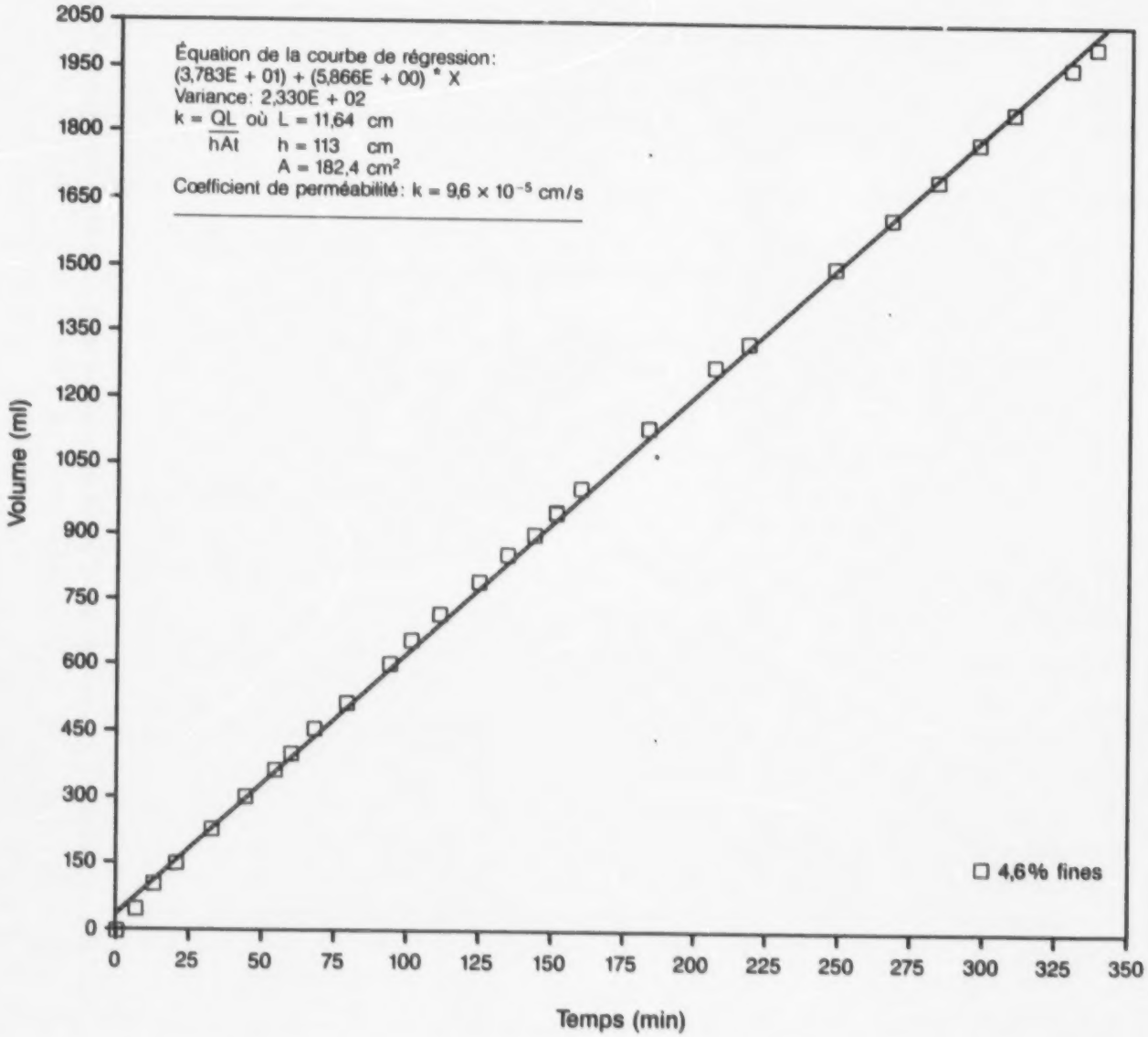

Figure 38 Perméabilité du matériel P.E.B. à 4,6% de fines P.E.B.

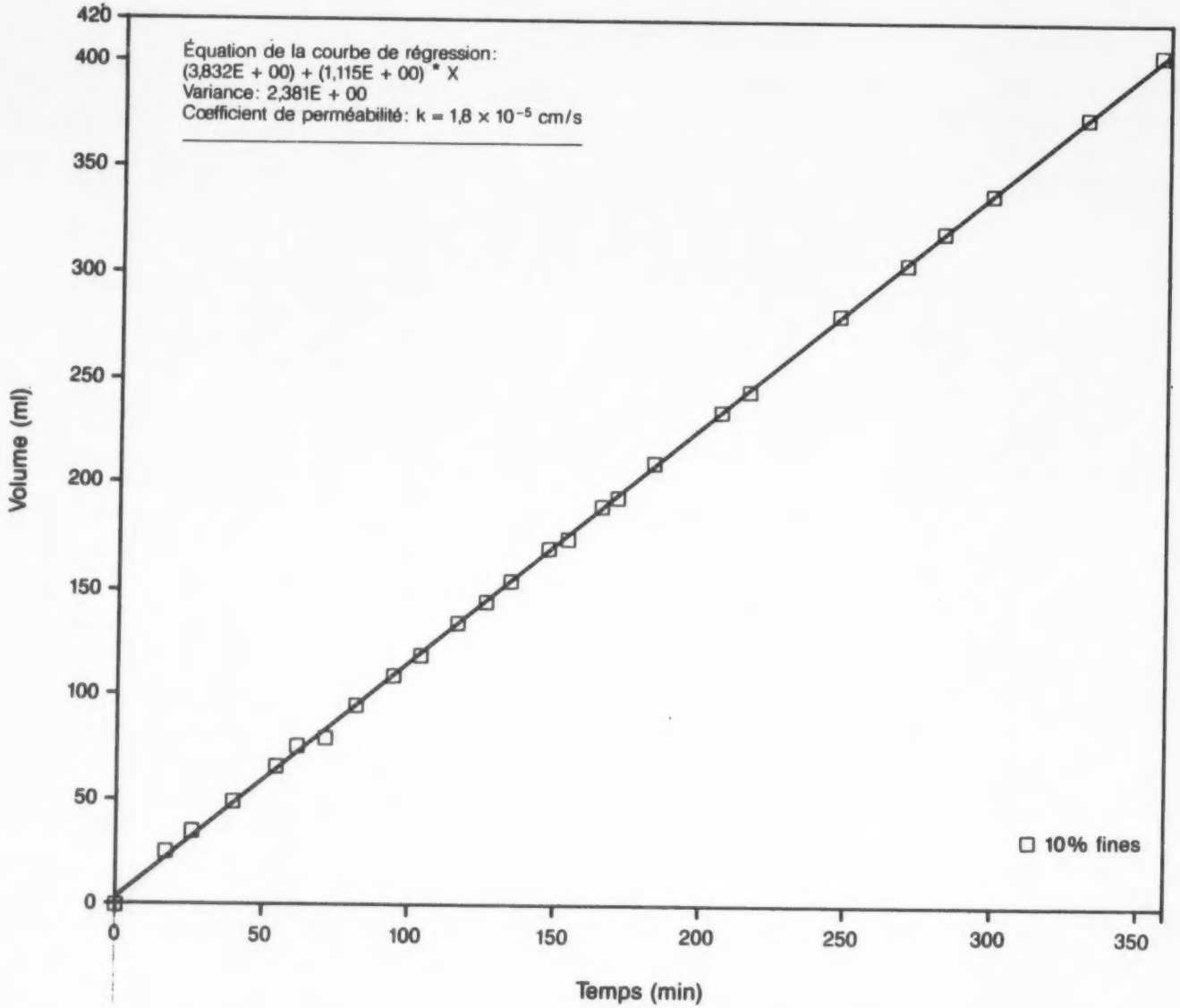

Figure 39 Perméabilité du matériel P.E.B. à 10% de fines P.E.B.

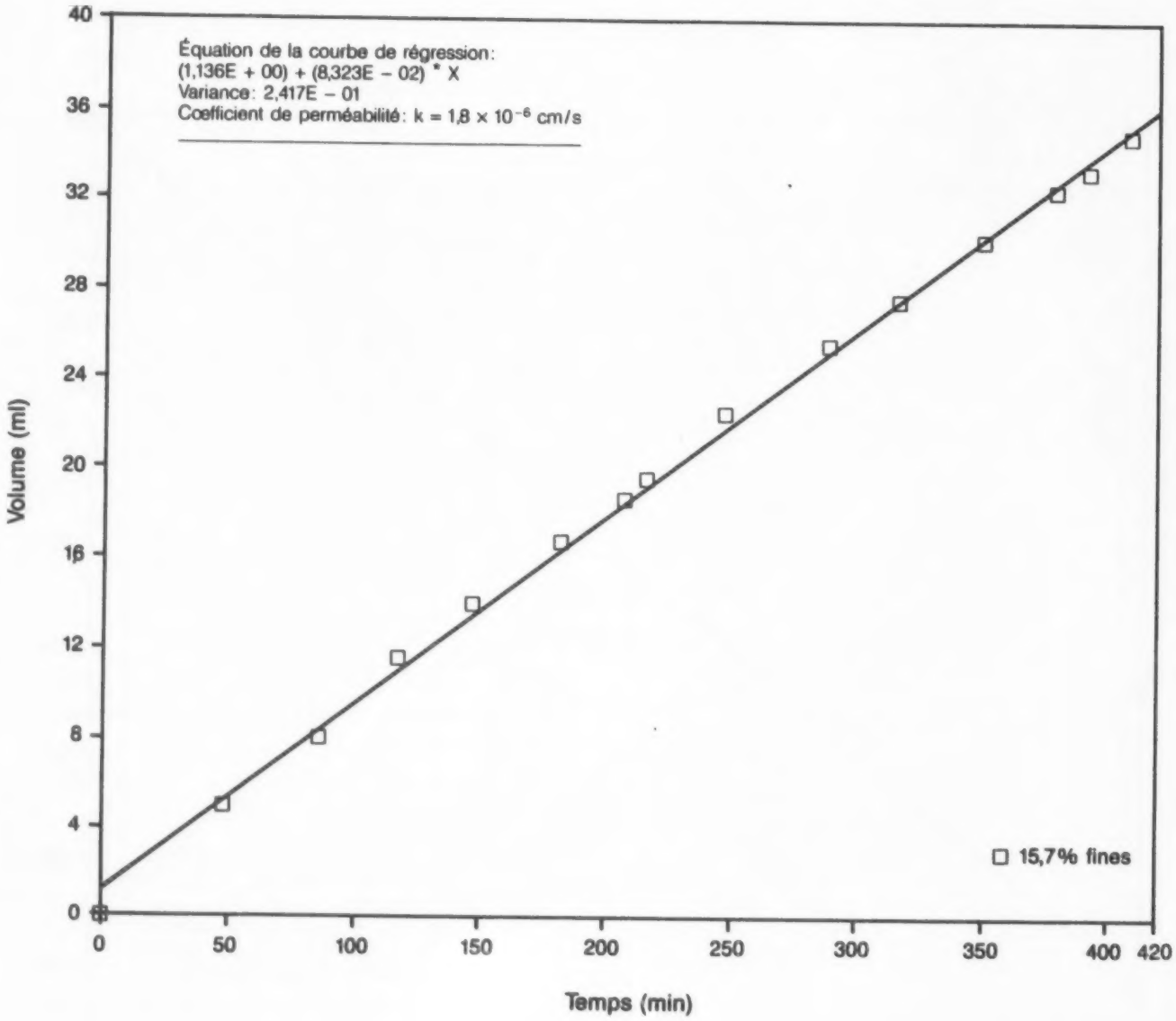

Figure 40 Perméabilité du matériel P.E.B. à 15,7% de fines P.E.B.

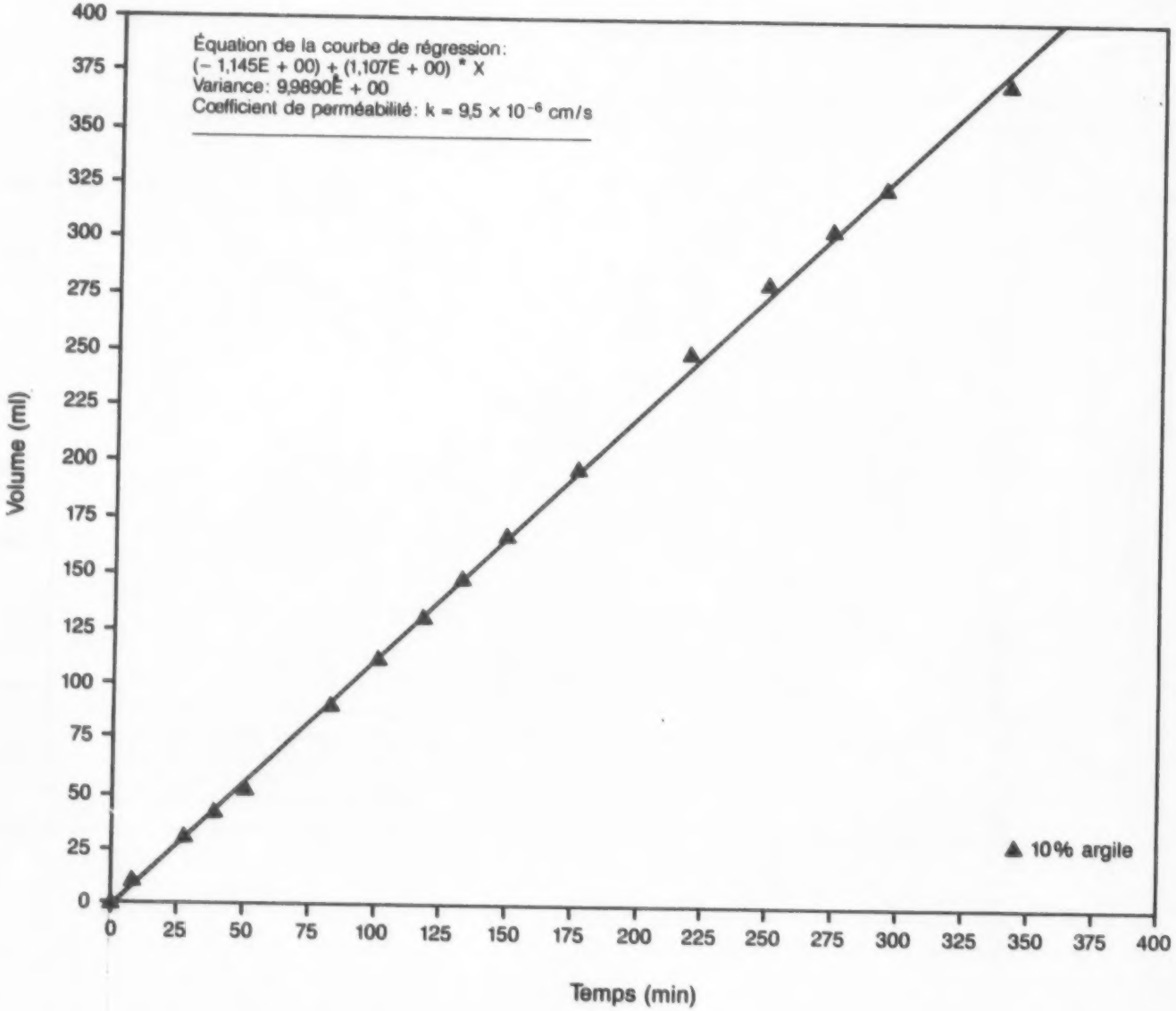

Figure 41 Perméabilité du matériel P.E.B. à 10% de fines argileuses

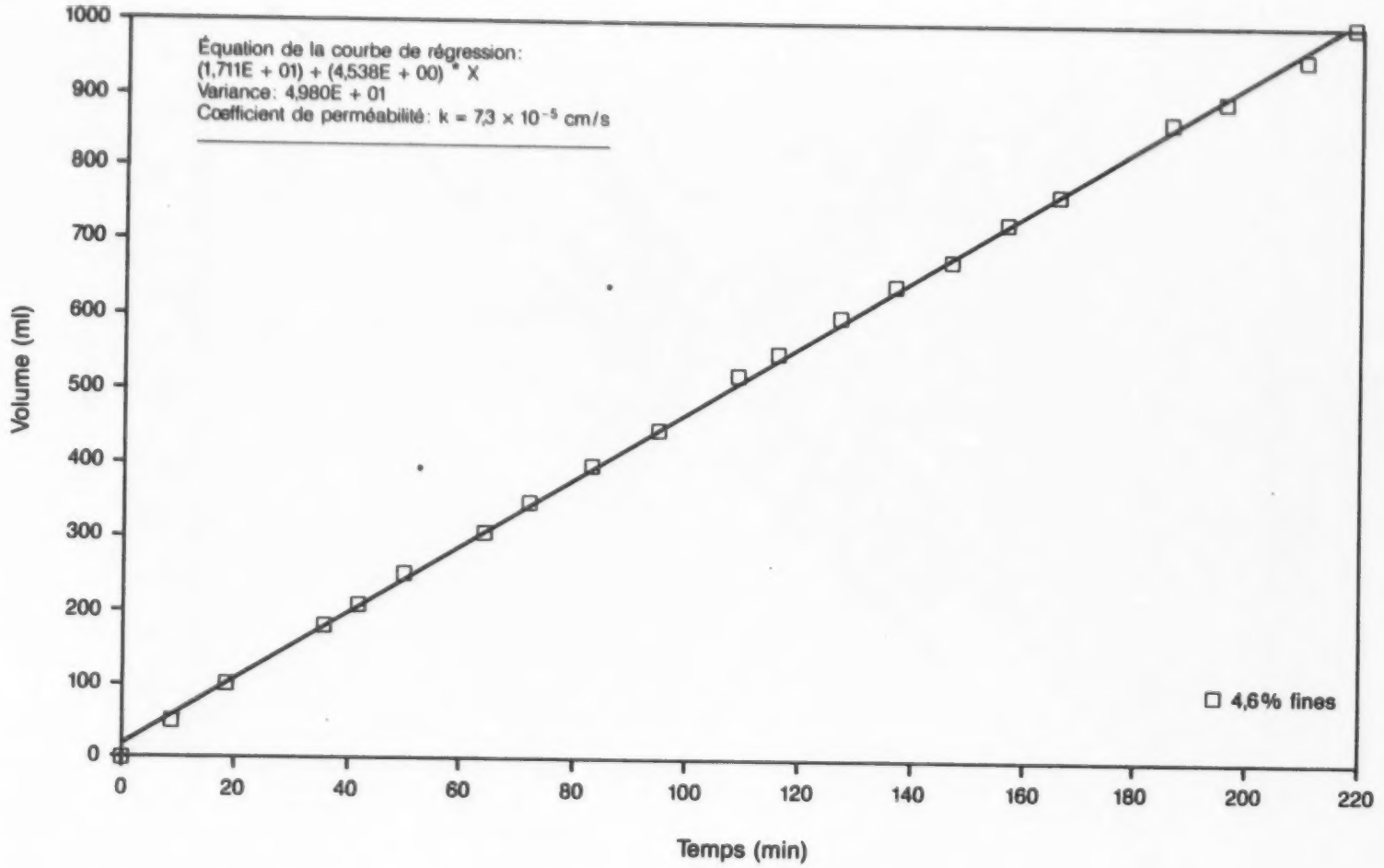

Figure 42 Perméabilité du matériel St-Damien à 4,6% de fines P.E.B.

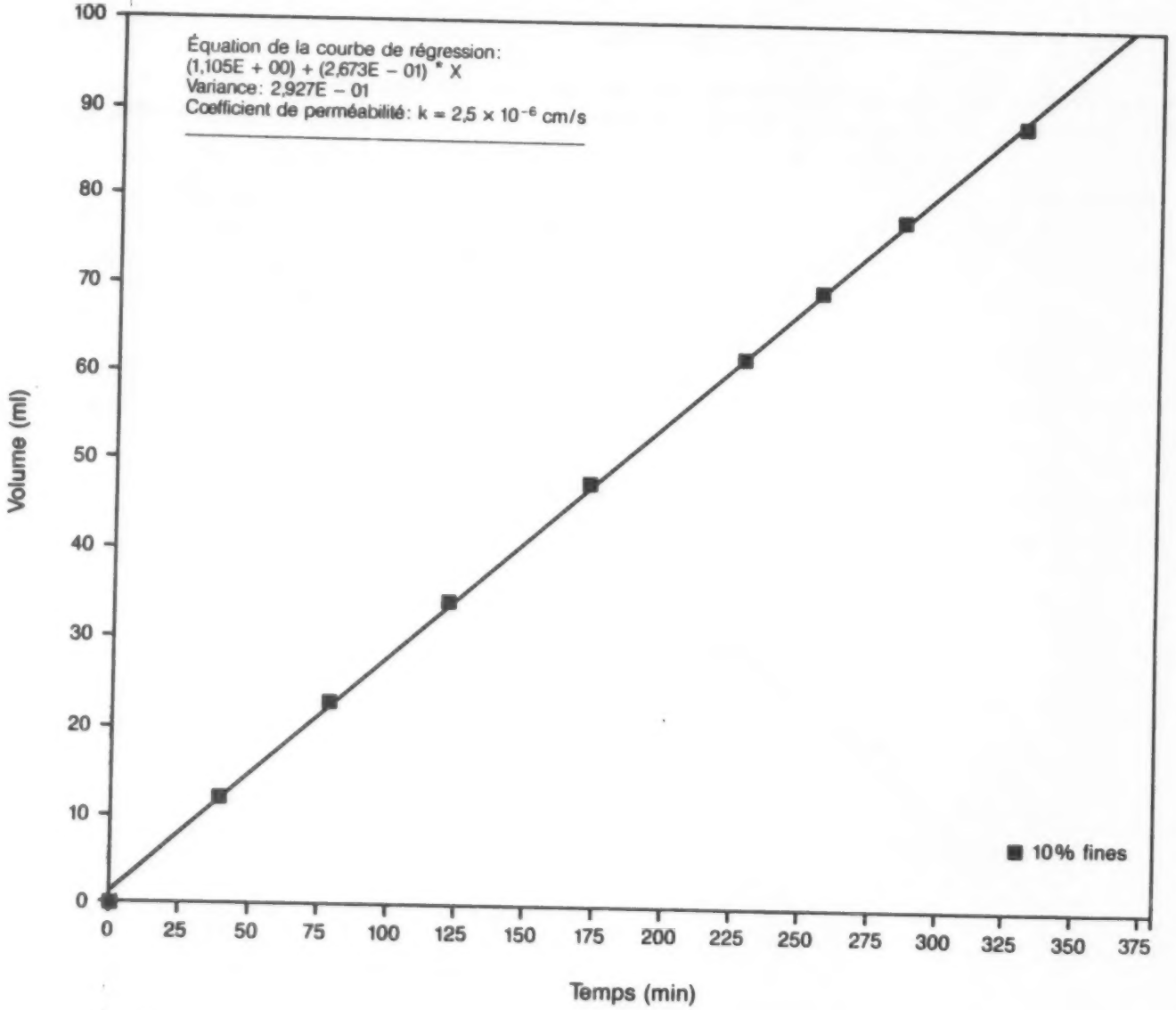

Figure 43 Perméabilité du matériel St-Damien à 10% de fines P.E.B.

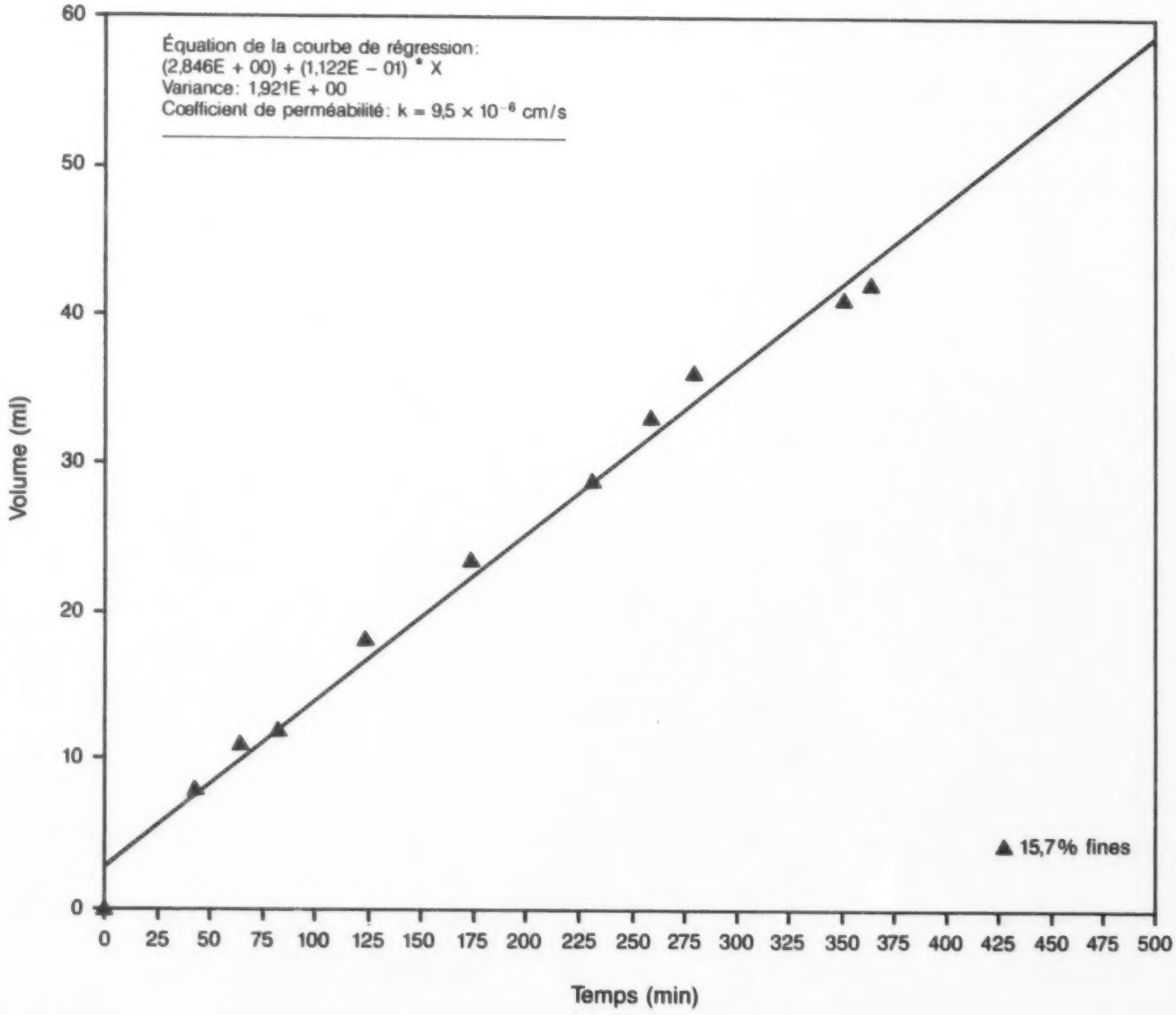

Figure 44 Perméabilité du matériel St-Damien à 15,7% de fines P.E.B.

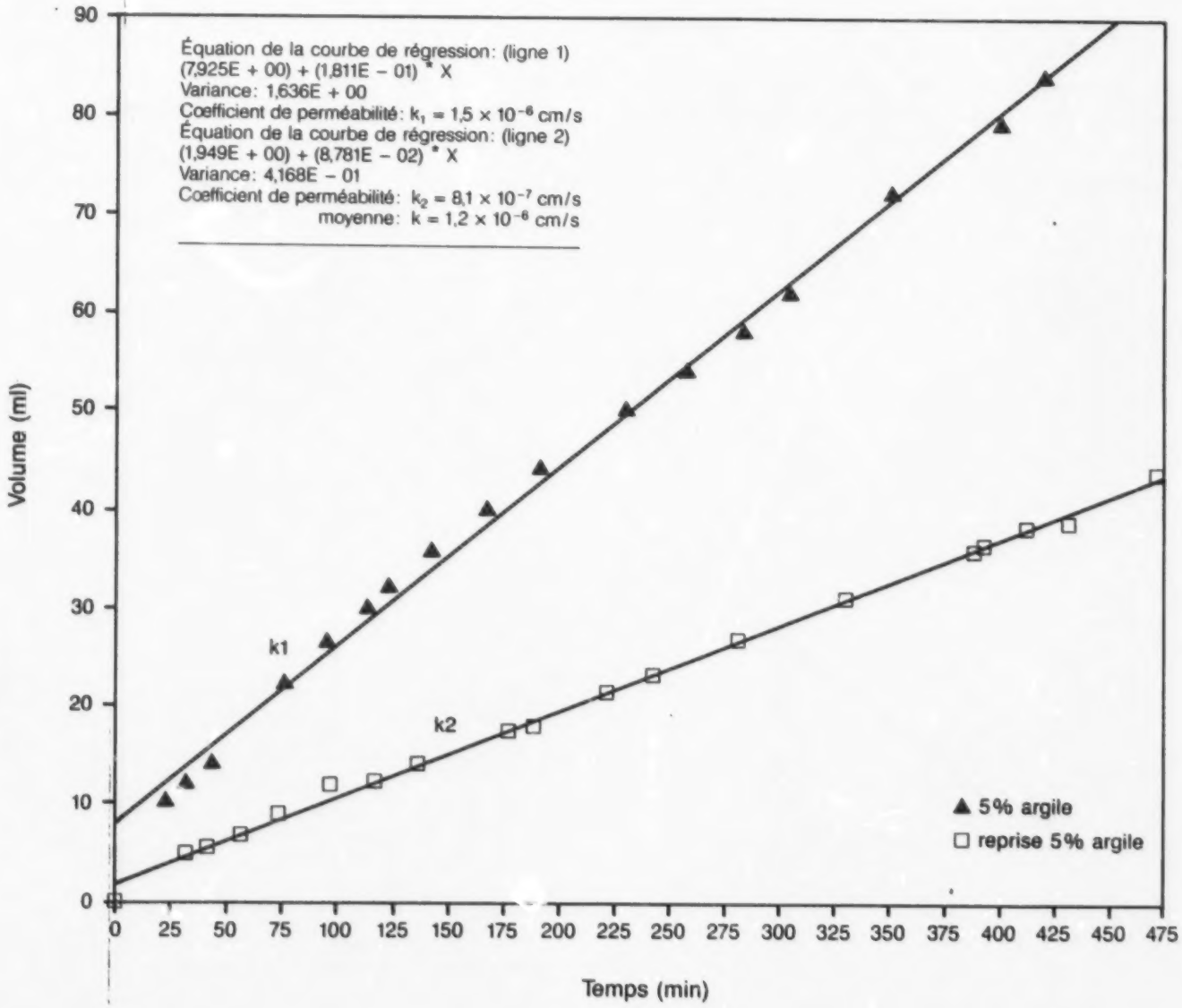

Figure 45 Perméabilité du matériel St-Damien à 5% de fines argileuses

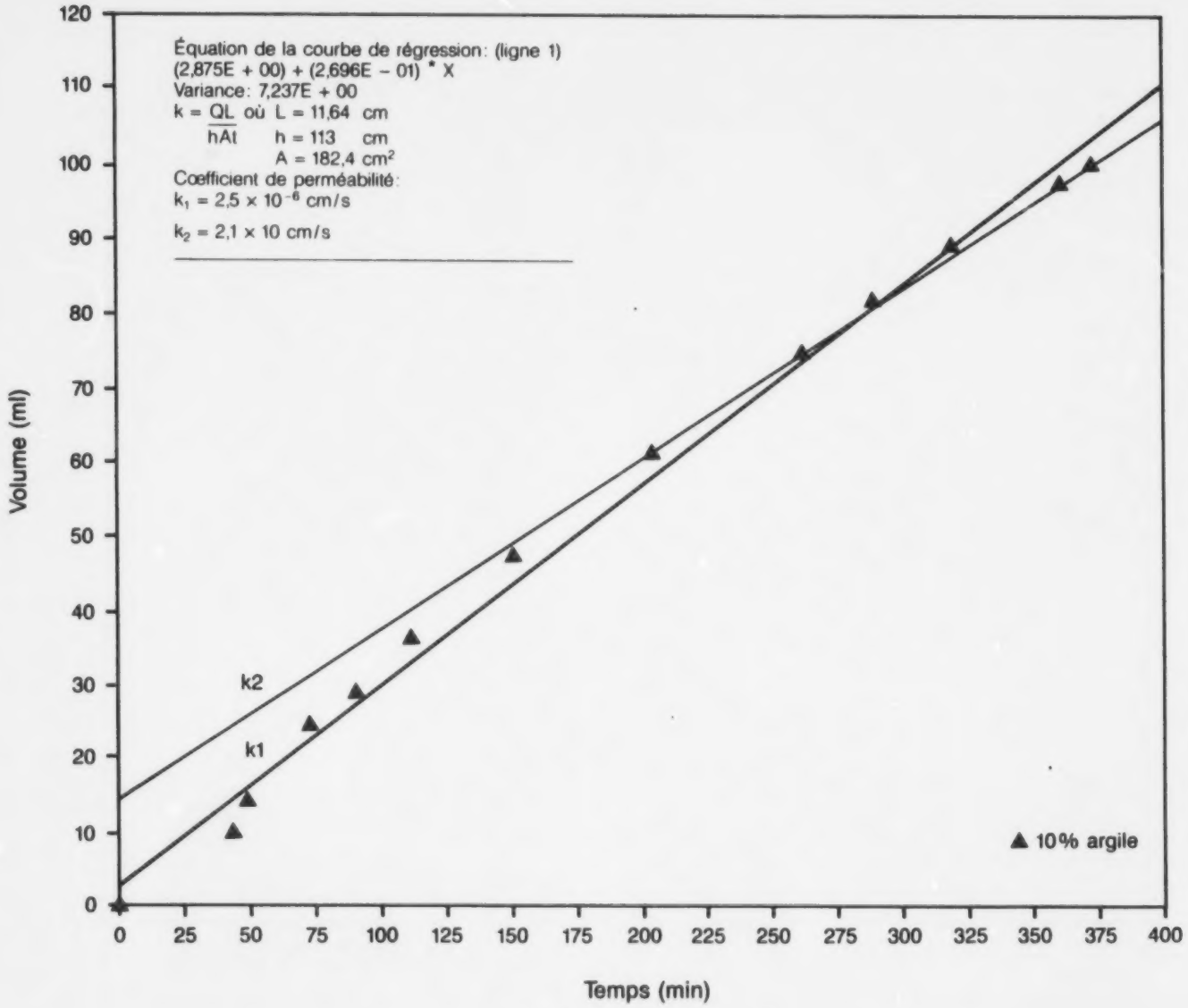

Figure 46 Perméabilité du matériel St-Damien à 10% de fines argileuses